



TUGAS AKHIR - TE 141599

**ANALISA KARAKTERISTIK MINYAK ISOLASI
TRANSFORMATOR DAYA 11KVA MENGGUNAKAN
METODE DGA DAN BREAKDOWN VOLTAGE PADA
GARDU KILANG PERTAMINA RU-II DUMAI**

Muhammad Fachry Akbar
NRP 07111340000170

Dosen Pembimbing
Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
Danar Fahmi, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TE 141599

***ANALYSIS OF CHARACTERISTICS OIL ISOLATION
POWER TRANSFORMER 11KVA USING DGA AND
BREAKDOWN VOLTAGE METHOD ON PERTAMINA
REFINERY ENTITY RU-II DUMAI***

Muhammad Fachry Akbar
NRP 07111340000170

Advisors

Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
Daniar Fahmi, ST., MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Analisa Karakteristik Minyak Isolasi Transformator Daya 11kVA Menggunakan Metode DGA dan Breakdown Voltage pada Gardu Kilang Pertamina RU-II Dumai**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 23 Mei 2018

Muhammad Fachry Akbar
NRP. 07111340000170

Halaman ini sengaja dikosongkan

**ANALISA KARAKTERISTIK MINYAK ISOLASI
TRANSFORMATOR DAYA 11KVA MENGGUNAKAN
METODE DGA DAN BREAKDOWN VOLTAGE PADA
GARDU KILANG PERTAMINA RU-II DUMAI**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
NIP.19700712 199802-1 001

Daniar Fahmi, ST., MT.
NIP.19890925 201404 1 002



ANALISA KARAKTERISTIK MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR DAYA 11KVA MENGGUNAKAN METODE DGA DAN BREAKDOWN VOLTAGE PADA GARDU KILANG PERTAMINA RU-II DUMAI

Nama : Muhammad Fachry Akbar
Pembimbing I : Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc.
Pembimbing II : Daniar Fahmi, ST., MT.

ABSTRAK

Studi ini dilakukan untuk mengetahui kegagalan yang terjadi pada transformator yang terdapat pada gardu kilang Pertamina RU-II Dumai dengan menggunakan metode DGA (Dissolved Gas Analysis) dan menganalisa karakteristik dari minyak transformator dengan menggunakan metode Breakdown Voltage. Terdapat 2 transformator yang akan diuji untuk mengetahui keadaan yang sedang terjadi pada transformator tersebut. Pengujian dilakukan pada laboratorium yang terdapat pada kilang Pertamina RU-II Dumai. Dari hasil pengujian dilakukan analisa dengan cara dengan membandingkan hasil pengujian yang telah dilakukan dengan data yang terdapat pada Pertamina RU-II Dumai. Pada metode DGA dilakukan perhitungan dengan metode interpretasi untuk mengetahui permasalahan yang terjadi. Dengan dilakukan pengujian dan perbandingan, diharapkan akan mengetahui lebih jelas permasalahan yang dapat terjadi pada transformator yang terdapat pada kilang Pertamina RU-II Dumai.

Pada pengujian dengan menggunakan metode Breakdown Voltage didapatkan nilai tegangan tembus yang cukup kecil karena memang nilai rating dari transformator tersebut yang cukup kecil. Kemudian untuk pengujian DGA (Dissolved Gas Analysis), pada transformator 1 memang sedang terjadi permasalahan yang pada saat pengambilan sampel transformator 1 dalam keadaan mati. Hasil dari perhitungan TDCG, transformator 1 berada pada kondisi 4. Berbeda dengan transformator 2 yang berada pada kondisi 1.

Kata Kunci : Transformator, Dissolved Gas Analysis (DGA), Breakdown Voltage.

Halaman ini sengaja dikosongkan

**ANALYSIS OF CHARACTERISTICS OIL ISOLATION POWER
TRANSFORMER 11KVA USING DGA AND BREAKDOWN
VOLTAGE METHOD ON PERTAMINA REFINERY ENTITY RU-II
DUMAI**

Name : Muhammad Fachry Akbar
1st Advisor : Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc.
2nd Advisor : Daniar Fahmi, ST., MT

ABSTRACT

This study was conducted to find out the failure that occurred in the transformer contained in the Pertamina RU-II Dumai refinery using DGA (Dissolved Gas Analysis) method and analyzing the characteristics of transformer oil by using Breakdown Voltage method. There are 2 transformers that will be tested to determine the current state of the transformer. The tests were conducted at the laboratory located at the Pertamina RU-II Dumai refinery. From the test results are analyzed by comparing the test results that have been done with the data contained in Pertamina RU-II Dumai. In the method of DGA done calculations by interpretation method to find out the problems that occur. By testing and comparison, it is hoped to know more clearly the problems that can occur in the transformer contained in the Pertamina RU-II Dumai refinery.

In the test using the Breakdown Voltage method obtained the value of the translucency voltage is quite small because the value of the transformer is quite small. Then for testing DGA (Dissolved Gas Analysis), on the transformer 1 is going on a problem that at the time of sampling transformer 1 in a state of death. Results from TDCG calculations, transformer 1 is in condition 4. While the transformer 2 is in condition 1

Keywords: *Transformator, Dissolved Gas Analysis (DGA), Breakdown Voltage.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur, kehadiran Allah Subhanahu wa ta'ala yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya Shalawat serta salam tidak lupa penulis panjatkan kepada Rasulullah Muhammad shallallahu 'alaihi wa sallam. Sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Analisa Karakteristik Minyak Isolasi Transformator Daya 11kV Menggunakan Metode DGA dan Breakdown Voltage pada Gardu Kilang Pertamina RU-II”.

Pengerjaan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan menyelesaikan pendidikan sarjana pada bidang Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Elektro, Fakultas Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam pelaksanaan dan pembuatan Tugas Akhir ini tentunya sangat banyak bantuan yang penulis terima dari berbagai pihak. Melalui lembar ini, penulis ingin secara khusus menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak I Made Yulistya Negara dan Bapak Daniar Fahmi atas segala pengetahuannya dan waktunya dalam membimbing penulis sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis, Bapak Razali dan Mama Nurhidayati yang telah memberikan nasihat, semangat, do'a dan dukungan materil kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan tepat pada waktunya.
3. Adik dan Kakak, serta keluarga besar yang selalu memberikan do'a, hiburan dan semangat kepada penulis selama mengerjakan Tugas Akhir
4. Seluruh dosen, staff, dan karyawan Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.
5. Teman-teman Angkatan 2013 atas semangat dan motivasi selama menempuh kuliah jurusan Teknik Elektro.
6. Teman-teman Laboratorium Tegangan Tinggi yang selalu membantu dan memberi hiburan kepada penulis selama mengerjakan Tugas Akhir.
7. Muthia Annissa Syani yang ada selalu untuk mengingatkan, memberi dukungan dan semangat kepada penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir.

8. Teman-teman Eclus yang telah menemani, memberikan semangat dan hiburan selama menempuh kuliah di jurusan Teknik Elektro.
9. Karyawan Pertamina RU-II Dumai yang telah membantu memberikan bantuan untuk Tugas Akhir.
10. Pihak-pihak lain yang belum bisa penulis sebutkan satu per satu yang ikut membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir.

Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini bermanfaat dan berguna bagi penulis khususnya dan juga bagi para pembaca pada umumnya.

Surabaya, Mei 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR KEASLIAN TUGAS AKHIR	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Sistematika Laporan	3
BAB II TRANSFORMATOR DAYA DAN ISOLASI CAIR	5
2.1 Transformator	5
2.1.1 Komponen Transformator	6
2.1.2 Transformator Daya.....	12
2.1.3 Jenis Gangguan Internal Pada Transformator	13
2.2 Isolasi Minyak Pada Transformator.....	14
2.2.1 Jenis Isolasi Minyak Transformator	14
2.2.2 Karakteristik Fisik Isolasi Minyak.....	14
2.2.3 Karakteristik Elektrik Isolasi Minyak.....	16
2.2.4 Karakteristik Kimia Isolasi Minyak.....	16
2.3 Mekanisme Kegagalan Isolasi Cair di Transformator	17
2.4.1 Teori Kegagalan Elektronik.....	18
2.4.2 Teori Kegagalan Bola Cair	19
2.4.3 Teori Kegagalan Gelembung.....	21
2.4.4 Teori Kegagalan Butiran Padat.....	22
2.4 Gas Terlarut Pada Minyak Transformator	24
2.5 Ketahanan Isolasi Terhadap Tegangan Tembus	24
2.6 DGA (Dissolved Gas Analysis).....	26
2.7 Metode Ekstraksi Gas	27
2.8 Metode Interpretasi Data Uji DGA (Dissolved Gas Analysis).....	28

BAB III PENGUJIAN MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR	33
3.1 Identifikasi Masalah	33
3.2 Metodologi Penelitian.....	33
3.3 Pengujian Tegangan Tembus.....	34
3.4 Fenomena Saat Pengujian Tegangan Tembus	36
3.5 Pengujian DGA (Dissolved Gas Analysis).....	37
BAB IV ANALISIS DATA	43
4.1 Analisa Karakteristik Minyak Isolasi Tranformator Dengan Metode Breakdown Voltage	43
4.2 Analisa Karakteristik Minyak Isolasi Tranformator Dengan Metode DGA.....	44
4.3.1 Analisa Karakteristik Minyak Isolasi Transformator Dengan Metode Interpretasi TDCG	46
4.3.1 Analisa Karakteristik Minyak Isolasi Transformator Dengan Metode Interpretasi Key Gas	47
4.3.1 Analisa Karakteristik Minyak Isolasi Transformator Dengan Metode Interpretasi Roger Ratio	48
4.3.1 Analisa Karakteristik Minyak Isolasi Transformator Dengan Metode Interpretasi Duval's Triangel	49
BAB V PENUTUP	53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	55
BIODATA PENULIS	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bagian dan Prinsip kerja transformator	6
Gambar 2.2	Electromagnetik Circuit (Inti Besi).....	7
Gambar 2.3	Current Caring Circuit (Winding).....	7
Gambar 2.4	Lingkaran merah yang berupa Bushing	8
Gambar 2.5	Salah satu pendingin pada transformator.....	9
Gambar 2.6	Tabung yang terdapat diatas meruapakan sebuah tangki konservator.....	10
Gambar 2.7	Tabung yang terdapat diatas merupakan sebuah tangki konservator	11
Gambar 2.8	Transformator Daya.....	12
Gambar 2.9	Kegagalan Elektronik	19
Gambar 2.10	Medan listrik berbentuk Sferoida	20
Gambar 2.11	Kegagalan kavitas pada media isolasi cair.....	21
Gambar 2.12	Grafik perbandingan hasil perhitungan sesuai dengan teori kekuatan gagal medan gelembung dengan hasil percobaan	22
Gambar 2.13	Kegagalan butiran padat dalam media isolasi cair....	23
Gambar 2.14	Struktur Kimia Minyak Isolator dan Gas-gas Terlarut pada Minyak Isolator	24
Gambar 2.15	Photo Acoustic Spectroscopy	28
Gambar 2.16	Duval's Triangel	31
Gambar 3.1	Alat uji tegangan tembus Phenix Technology LD75 di Pertamina RU II Dumai	35
Gambar 3.2	Proses jalanya arah gelembung gas pada posisi elektroda vertikal(a). Proses jalanya arah gelembung gas pada posisi elektroda horisontal(b)	35
Gambar 3.3	Bejana pengujian tegangan tembus pada Phenix Technology LD75.....	36
Gambar 3.4	Gas Kalibrasi CALGAS yang digunakan pada alat Myrkos.....	38
Gambar 3.5	Syringe yang digunakan untuk mangambil sampel oil transformator	39
Gambar 3.6	Syringe Shaker yang digunakan sebelum pengujian DGA dengan menggunakan alat Myrkos.....	40

Gambar 3.7	Selang oil trap yang digunakan pada pengujian menggunakan alat Myrkos sehingga gas dapat teridentifikasi.....	40
Gambar 3.8	Proses pengambilan sampel pada transformator 2...	42
Gambar 4.1	Duval's Triangel pada transformator 2 yang berada pada bagian PD.....	50
Gambar 4.2	Duval's Triangel pada transformator 2 yang berada pada bagian PD.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Peralatan bantu pendingin transformator.....	28
Tabel 2.2	Kategori peralatan berdasarkan tegangan operasinya.....	31
Tabel 2.3	Aplikasi dan interpretasi dari tes pengujian tegangan tembus	32
Tabel 2.4	Batas konsentrasi gas terlarut berdasarkan IEEE std.C57- 104.1991	33
Tabel 2.5	Karakteristik gangguan dengan metode Keygas.....	34
Tabel 2.6	Karakteristik gangguan dengan metode Roger Ratio	34
Tabel 2.7	Karakteristik gangguan dengan metode Duval.....	35
Tabel 4.1	Nilai hasil pengujian tegangan tembus sampel uji isolasi minyak transformator	35
Tabel 4.2	Nilai hasil pengujian sendiri dan data dari Pertamina RU-II Dumai dengan metode DGA (Dissolved Gas Analysis) pada transformator 1	36
Tabel 4.3	Nilai hasil pengujian sendiri dan data dari Pertamina RU-II Dumai dengan metode DGA (Dissolved Gas Analysis) pada transformator 2	36
Tabel 4.4	Hasil TDCG pada pengujian DGA Transformator 1	36
Tabel 4.5	Hasil TDCG pada pengujian DGA Transformator 2.....	37
Tabel 4.6	Konsentrasi gas kunci pada pengujian DGA Transformator 1	37
Tabel 4.7	Konsentrasi gas kunci pada pengujian DGA Transformator 2.....	39

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sejumlah besar transformator dari berbagai jenis rating tegangan dan kapasitas digunakan dalam sistem distribusi. Selain sistem distribusi, transformator tersebut juga digunakan dalam sistem tenaga maupun sistem elektronika. Dalam hal ini, transformator tersebut dapat berfungsi sebagai suatu alat listrik yang mampu memindahkan dan juga mengubah energi listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lainnya tanpa harus merubah frekuensi dari suatu sistem. Akan tetapi, pada saat pengoperasian transformator dalam sistem tenaga listrik tidaklah lepas dari suatu permasalahan yang pada umumnya menyebabkan timbulnya suatu kegagalan (failure), baik itu kegagalan termal maupun kegagalan elektris. Kegagalan termal dan elektris ini akan menyebabkan umur dari transformator tersebut tidaklah panjang dan juga akan menyebabkan kerusakan pada transformator yang akan berdampak besar pada kerugian finansialnya akibat dari perbaikan yang akan memakan biaya yang cukup banyak dan juga waktu perbaikan yang cukup lama. Maka dari pada itulah kehandalan kerja pada transformator perlu dijaga secara terus menerus agar transformator tersebut dapat bekerja secara efektif dan maksimal.

Transformator daya memiliki suatu batasan umur yang efektif, dimana dalam hal ini akan menunjukkan apakah transformator tersebut masih layak dan juga handal untuk dioperasikan kedalam sistem tenaga listrik atau tidak memungkinkan untuk dioperasikan. Hal ini dikarenakan transformator daya tersebut bekerja secara terus menerus selama 24 jam. Menurut standar pada IEEE, umur untuk pemakaian transformator daya mencapai 180000 jam atau sama dengan 20,55 tahun. Jadi dalam hal ini kelangsungan kinerja dari transformator daya tersebut sangatlah bergantung pada kualitas sistem isolasinya. Keberadaan isolasi disini sangatlah penting karena selain berfungsi sebagai pemisah anatar bagian inti transformator, isolasi ini berfungsi juga sebagai pendingin transformator sehingga mampu meminimalisir panas yang timbul pada transformator.

Terdapat beberapa fenomena kegagalan pada transformator yang salah satu penyebabnya adalah adanya panas berlebih yang sering terjadi pada sistem isolasi transformator. Terdapat beberapa faktor yang menimbulkan panas pada transformator seperti pembebanan berlebih

pada transformator, pelepasan beban muatan, pemanasan dielektrik, Arus Eddy, rugi histerisis, adanya proses oksidasi yang menghasilkan karat, lingkungan sekitar dengan suhu yang tinggi, dan lain sebagainya. Suhu yang tinggi ini menjadi parameter yang paling banyak berpengaruh terhadap penuaan pada sistem isolasi transformator, sehingga transformator memerlukan sistem pendingin untuk mengontrol suhu yang tinggi akibat berbagai faktor. Suhu yang tinggi akan memicu reaksi berantai yang akan mempercepat penurunan umur dan kualitas kerja dari sistem isolasi transformator, baik pada isolasi minyak maupun isolasi kertas pada transformator, dan menimbulkan turunnya efektifitas kerja sistem pendingin sehingga nantinya mengakibatkan transformator mengalami kerusakan.

Kegagalan isolasi minyak pada transformator akan menyebabkan penurunan terhadap kehandalan dan umur transformator. Selain berdampak pada kerugian finansial yang besar, hal ini juga akan berpengaruh terhadap kualitas tenaga listrik yang disuplai kepada pelanggan. Dalam studi ini, akan dilakukan analisa minyak transformator dengan melakukan pengujian dengan menggunakan metode DGA (Dissolved Gas Analysis) dan Breakdown Voltage. Melalui studi ini, hasil yang diperoleh diharapkan dapat memberikan manfaat dalam dunia tenaga listrik, khususnya pada pengkajian kegagalan minyak transformator sehingga dapat mengambil langkah-langkah efektif dan preventif dalam menangani permasalahan yang berkaitan dengan isolasi minyak transformator, baik dalam penggantian maupun purifikasi minyak transformator.

Berdasarkan uraian di atas penelitian ini berjudul “Analisa Karakteristik Minyak Isolasi Transformator 11kVA Menggunakan Metode DGA dan Breakdown Voltage pada Gardu Kilang Pertamina RU-II Dumai”. Permasalahan yang akan dibahas dalam studi ini yaitu pengujian karakteristik minyak isolasi transformator yang ada di Pertamina RU-II Dumai dan kemudian menganalisa kegagalan yang terdapat pada minyak isolasi transformator tersebut. Tujuan dari studi ini adalah mengetahui karakteristik minyak isolasi transformator dengan pengujian Breakdown Voltage dan juga dapat mendeteksi kegagalan yang ada pada minyak isolasi transformator tersebut dengan menggunakan metode DGA.

Dalam studi ini, diperlukan metode penelitian yang tepat agar pelaksanaan studi sesuai dengan perencanaan. Metode penelitian pada studi ini meliputi studi literatur, persiapan dan pengambilan sampel,

pengujian Breakdown Voltage dan DGA, pengambilan data, pengolahan dan kesimpulan.

Dalam studi literatur, pengumpulan dan mempelajari referensi dilakukan untuk mencari pengertian, definisi dan berbagai tulisan yang berhubungan dengan studi ini. Beberapa kata kunci untuk studi literatur seperti transformator, isolator minyak, karakteristik minyak sebagai isolasi cair pada tranformator, pengujian tegangan tembus, dan juga pengujian dengan menggunakan metode DGA. Dari literatur yang didapat akan dijadikan sebagai pendukung dalam studi ini.

Setelah studi literatur terlaksanakan, selanjutnya adalah persiapan dan pengambilan sampel. Persiapan tahap pertama untuk memulai studi dengan mempersiapkan alat dan bahan untuk pengambilan sampel minyak transformator di Pertamina RU-II Dumai yang ingin diuji. Dalam studi ini digunakan sampel minyak mineral Trafolube A yang didapat dari transformator Pertamina RU-II Dumai.

Setelah dilakukan persiapan dan pengambilan sampel, dilanjutkan dengan pengujian Breakdown Voltage dan pengujian DGA (Dissolved Gas Analysis). Pengujian dilakukan menggunakan alat yang terdapat di Pertamina RU-II Dumai.

Pengambilan data dilakukan pada saat melakukan pengujian Breakdown Voltage tersebut untuk mengetahui karakteristik minyak isolasi tersebut dan dilanjutkan dengan melakukan pengujian DGA untuk mengetahui kandungan gas yang nantinya akan dianalisis.

Pengolahan data eksperimen pada pengujian Breakdown Voltage dan pengujian DGA berdasarkan standart dan membandingkan hasil pengujian yang telah dilakukan dengan pengujian dari Pertamina RU-II Dumai sebelumnya.

Memberikan kesimpulan bagaimana karakteristik minyak isolasi transformator setelah dilakukan pengujian tegangan tembus dan pengujian DGA (Dissolved Gas Analysis) untuk mengetahui kegagalan yang terdapat pada minyak isolasi pada transformator Pertamina RU-II Dumai.

1.2 Sistematika Laporan

Penelitian studi ini terdiri dari lima bab. Setiap bab memiliki lingkup pembahasan tersendiri.

Bab pertama merupakan pendahuluan yang berisikan latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab kedua menjelaskan transformator daya dan isolasi cair sebagai penunjang laporan studi meliputi, komponen transformator, definisi transformator daya, minyak sebagai isolator cair pada transformator, mekanisme kegagalan isolasi cair pada transformator, metode Breakdown Voltage dan definisi yang menjelaskan tentang metode DGA (Dissolved Gas Analysis).

Bab ketiga akan membahas tentang metode pengujian dimana akan membahas dan menjelaskan mengenai pengujian menggunakan metode Breakdown Voltage untuk mengetahui karakteristik minyak isolasi transformator dan menggunakan metode DGA (Dissolved Gas Analysis untuk mengetahui kegagalan yang terdapat pada minyak isolasi transformator tersebut.

Bab keempat akan dibahas mengenai hasil pengujian dan analisa data dari pengujian dengan menggunakan Breakdown Voltage dan pengujian DGA (Dissolved Gas Analysis).

Bab kelima merupakan penutup dari studi pengujian minyak isolasi transformator. Bab lima berisikan kesimpulan dari hasil pengujian yang telah dilakukan dan juga berisi saran-saran. Kesimpulan diambil melalui pengamatan, pengujian dan analisis pada sampel isolasi minyak transformator.

BAB II

TRANSFORMATOR DAYA DAN ISOLASI CAIR

2.1 Transformator

Transformator atau sering disingkat dengan istilah Trafo adalah suatu alat listrik yang dapat mengubah taraf suatu tegangan AC ke taraf yang lain. Maksud dari perubahan taraf tersebut diantaranya seperti menurunkan Tegangan AC dari 220VAC ke 12VAC ataupun menaikkan Tegangan dari 110VAC ke 220VAC. Transformator atau Trafo ini bekerja berdasarkan prinsip Induksi Elektromagnet dan hanya dapat bekerja pada tegangan yang berarus bolak balik (AC). Transformator (Trafo) memegang peranan yang sangat penting dalam pendistribusian tenaga listrik. Transformator menaikkan listrik yang berasal dari pembangkit listrik PLN hingga ratusan kilo Volt untuk di distribusikan, dan kemudian Transformator lainnya menurunkan tegangan listrik tersebut ke tegangan yang diperlukan oleh setiap rumah tangga maupun perkantoran yang pada umumnya menggunakan Tegangan AC 220Volt.

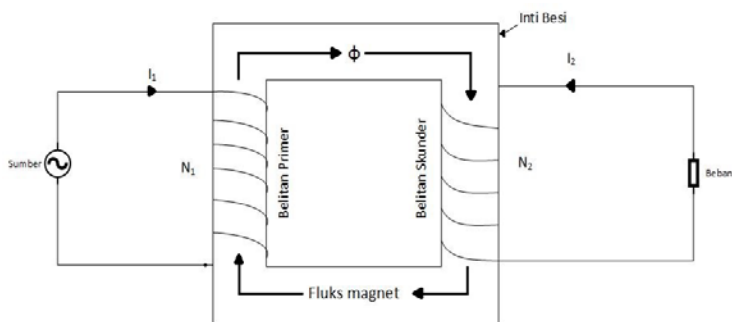
Sebuah Transformator yang sederhana pada dasarnya terdiri dari 2 lilitan atau kumparan kawat yang terisolasi yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Pada kebanyakan Transformator, kumparan kawat terisolasi ini dililitkan pada sebuah besi yang dinamakan dengan Inti Besi (Core). Ketika kumparan primer dialiri arus AC (bolak-balik) maka akan menimbulkan medan magnet atau fluks magnetik disekitarnya. Kekuatan Medan magnet (densitas Fluks Magnet) tersebut dipengaruhi oleh besarnya arus listrik yang dialirinya. Semakin besar arus listriknya semakin besar pula medan magnetnya. Fluktuasi medan magnet yang terjadi di sekitar kumparan pertama (primer) akan menginduksi GGL (Gaya Gerak Listrik) dalam kumparan kedua (sekunder) dan akan terjadi pelimpahan daya dari kumparan primer ke kumparan sekunder. Dengan demikian, terjadilah perubahan taraf tegangan listrik baik dari tegangan rendah menjadi tegangan yang lebih tinggi maupun dari tegangan tinggi menjadi tegangan yang rendah. [2]

Sedangkan Inti besi pada Transformator atau Trafo pada umumnya adalah kumpulan lempengan-lempengan besi tipis yang terisolasi dan ditempel berlapis-lapis dengan kegunaanya untuk mempermudah jalannya Fluks Magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik kumparan serta untuk mengurangi suhu panas yang ditimbulkan.

Beberapa bentuk lempengan besi yang membentuk Inti Transformator tersebut diantaranya seperti :

- E – I Lamination
- E – E Lamination
- L – L Lamination
- U – I Lamination

Prinsip kerja dan bagian transformator dapat ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Bagian dan Prinsip kerja transformator

Dalam pengoperasian penyaluran tenaga listrik, transformator merupakan peralatan listrik yang sangat penting dalam sistem pembangkitan, transmisi dan distribusi. Karena itu, dalam kondisi ini suatu transformator diharapkan dapat beroperasi dengan maksimal. Mengingat transformator bekerja secara terus menerus, maka pemeliharaan transformator diperhatikan dengan tepat dan sebaik mungkin.

2.1.1 Komponen Transformator

Berikut akan dijelaskan mengenai komponen-komponen beserta fungsi yang terdapat pada transformator.

1. Electromagnetik Circuit (Inti Besi)

Inti besi digunakan sebagai media jalannya flux yang timbul akibat induksi arus bolak balik pada kumparan yang mengelilingi inti besi sehingga dapat menginduksi kembali ke kumparan yang lain. Dibentuk dari lempengan-lempengan besi

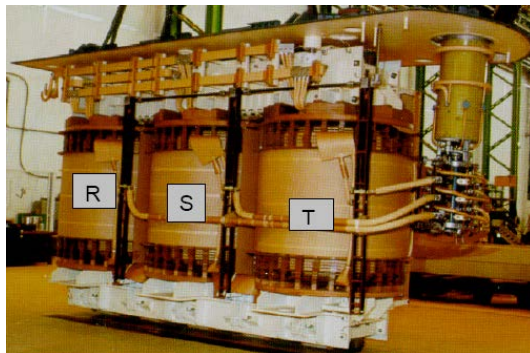
tipis berisolasi yang disusun sedemikian rupa untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh Eddy Current.



Gambar 2.2 Electromagnetik Circuit (Inti Besi)

2. Current Carring Circuit (Winding)

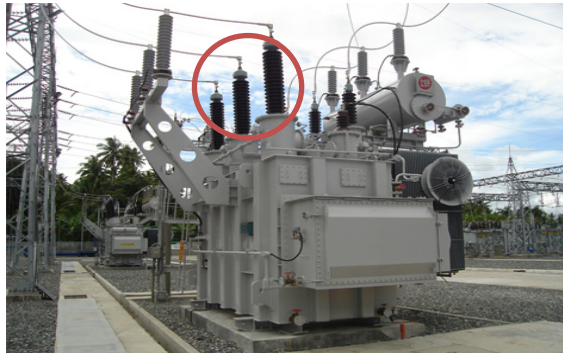
Belitan terdiri dari batang tembaga berisolasi yang mengelilingi inti besi, dimana saat arus bolak balik mengalir pada belitan tembaga tersebut, inti besi akan terinduksi dan menimbulkan flux magnetic.



Gambar 2.3 Current Carring Circuit (Winding)

3. Bushing

Bushing merupakan sarana penghubung antara belitan dengan jaringan luar. Bushing terdiri dari sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator. Isolator tersebut berfungsi sebagai penyekat antara konduktor bushing dengan budi tank transformator.



Gambar 2.4 Lingkaran merah yang berupa Bushing

4. Pendingin

Pada inti besi dan kumparan-kumparan akan timbul panas akibat rugi-rugi tembaga. Maka panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan, ini akan merusak isolasi, maka untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebihan tersebut transformator perlu dilengkapi dengan alat atau sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar transformator, media yang dipakai pada sistem pendingin dapat berupa udara atau gas, minyak dan air.

Pada cara alamiah, pengaliran media sebagai akibat adanya perbedaan suhu media dan untuk mempercepat pendinginan dari media-media yang berupa minyak gas atau udara dengan cara melengkapi transformator dengan sirip-sirip (radiator). Bila diinginkan penyaluran panas yang lebih cepat lagi, cara manual dapat dilengkapi dengan peralatan untuk mempercepat sirkulasi media pendingin dengan pompa pompa sirkulasi minyak, udara dan air, cara ini disebut pendingin paksa (Forced).



Gambar 2.5 Salah satu pendingin pada transformator

Berikut adalah tabel mengenai peralatan bantu pendingin transformator.

Tabel 2.1 Peralatan bantu pendingin transformator

No.	Macam-Macam Sistem Pendingin	Media			
		Dalam Transformator		Diluar Transformator	
		Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa
1.	AN	-	-	Udara	-
2.	AF	-	-	-	Udara
3.	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4.	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5.	OFAN	-	Minyak	Udara	-
6.	OFAF	-	Minyak	-	Udara
7.	OFWF	-	Minyak	-	Air
8.	ONAN/ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9.	ONAN/OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10.	ONAN/OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
11.	ONAN/OFWF	Kombinasi 3 dan 7			

5. Tangki Konservator

Tangki Konservator berfungsi untuk menampung minyak cadangan dan uap atau juga udara akibat pemanasan trafo karena arus beban. Diantara tangki dan trafo dipasang relai

bucholzt yang akan menyerap gas produksi akibat kerusakan minyak. Untuk menjaga agar minyak tidak terkontaminasi dengan air, ujung masuk saluran udara melalui saluran pelepasan atau venting dilengkapi media penyerap uap air pada udara atau alat pernapasan (dehydrating breather), sering disebut dengan silica gel.



Gambar 2.6 Tabung yang terdapat diatas merupakan sebuah tangki konservator

6. Minyak Isolasi Transformator

Minyak transformator merupakan salah satu bahan isolasi cair yang dipergunakan sebagai isolasi dan pendingin pada transformator. Sebagian bahan isolasi minyak harus memiliki kemampuan untuk menahan tegangan tembus, sedangkan sebagai pendingin minyak transformator harus mampu meredam panas yang ditimbulkan, sehingga dengan kedua kemampuan ini maka minyak transformator diharapkan akan mampu melindungi transformator dari gangguan.

Minyak transformator disini berupa cairan yang dihasilkan oleh proses pemurnian minyak mentah. Selain itu minyak ini juga berasal dari bahan-bahan organik, misalnya minyak piranol dan silikon, beberapa jenis minyak transformator yang sering dijumpai dilapangan adalah minyak transformator DIALA A, diala B dan Mectrans.



Gambar 2.7 Tabung yang terdapat diatas merupakan sebuah tangki konservator

7. Tap Changer

Kualitas operasi tenaga listrik jika tegangan nominalnya sesuai ketentuan, tapi pada saat operasi dapat saja terjadi penurunan tegangan sehingga kualitasnya menurun, untuk itu perlu alat pengatur tegangan agar tegangan selau pada kondisi terbaik, konstan dan berkelanjutan.

Maka dari pada itu trafo dirancang sedemikian rupa sehingga perubahan tegangan pada sisi masuk atau input tidak mengakibatkan perubahan tegangan pada sisi keluar atau output, dengan kata lain tegangan di sisi keluar atau outputnya tetap. Alat ini disebut sebagai sadapan pengatur tegangan tanpa terjadi pemutusan beban, biasa disebut On Load Tap Changer (OLTC). Pada umumnya OLTC tersambung pada sisi primer dan jumlahnya tergantung pada perancangan dan perubahan sistem tegangan pada jaringan.

8. NGR (Neutral Grounding Resistant)

Salah satu metoda pentanahan Trafo Tenaga adalah dengan menggunakan NGR. NGR adalah sebuah tahanan yang dipasang serial dengan neutral sekunder pada transformator sebelum terhubung ke ground atau tanah. Tujuan dipasangnya NGR adalah untuk mengontrol besarnya arus gangguan yang mengalir dari sisi neutral ke tanah. Hal ini terkait dengan Pola pengamanan Trafo Tenaga disisi Sekunder (Sistem Distribusi).

2.1.2 Transformator Daya

Transformator daya atau *power transformer* merupakan salah satu peralatan listrik dalam sistem tenaga listrik. Salah satu contoh transformator daya dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Transformator Daya

Gambar 2.8 merupakan transformator daya yang merupakan bagian dari sistem tenaga listrik, berfungsi mentransformasikan tegangan tinggi ke tegangan rendah ataupun sebaliknya. Dalam operasi penyaluran tenaga listrik transformator dapat dikatakan jantung dari transmisi dan distribusi. Dalam kondisi ini suatu transformator diharapkan dapat beroperasi secara maksimal (kalau bisa secara terus menerus tanpa berhenti). Mengingat kerja keras dari suatu transformator seperti itu, maka cara pemeliharaan juga dituntut sebaik mungkin. Oleh karena itu transformator harus dipelihara dengan menggunakan sistem dan peralatan yang benar, baik dan tepat. Untuk itu regu pemeliharaan harus mengetahui bagian-bagian transformator dan bagian-bagian mana yang perlu diawasi melebihi bagian lainnya. Berdasarkan pemakaian, transformator daya terdapat tiga macam, yaitu :

1. Transformator *Step Up*

Transformator *step up* digunakan sebagai, mentransformasikan tegangan dari pembangkit atau generator ke saluran transmisi. Transformator ini memiliki lilitan sekunder lebih

banyak daripada lilitan primer sehingga digunakan sebagai penaik tegangan.

2. Transformator Transmisi

Transformator transmisi digunakan sebagai mentransformasikan tegangan antar saluran transmisi.

3. Transformator *control*

Transformator *control* berfungsi sebagai pengatur perbandingan transformasi tegangan untuk mendapatkan tegangan operasi yang diinginkan. Transformator *control* terdapat *tap changer* atau perubah tap, perubah tap terdapat di satu sisi ataupun dapat di kedua sisi[1].

2.1.3 Jenis Gangguan Internal pada Transformator

Pada saat transformator beroperasi, terdapat beberapa gangguan yang dapat menimbulkan gas yang terlarut pada isolasi minyak transformator. Dari berbagai kasus kegagalan (fault) yang terjadi pada transformator dan terdeteksi melalui pengujian DGA (Dissolved Gas Analysis), maka kegagalan pada transformator dapat digolongkan menjadi beberapa kelas :

PD = Discharge Sebagian

D1 = Discharge Energi Rendah

D2 = Discharge Energi Tinggi

T1 = Thermal Faults pada temp $< 300^{\circ}\text{C}$

T2 = Thermal Faults pada temp $300^{\circ}\text{C} < T < 700^{\circ}\text{C}$

Zona DT = Campuran Termal dan Electrical Fault

1. *Partial Discharge*

Munculnya peristiwa pelepasan atau loncatan bunga api listrik pada suatu bagian dari bahan isolasi padat transformator.

2. *Arching*

Arching atau busur api yang terjadi pada isolasi minyak pada transformator.

3. *Thermal Fault*

Pemanasan yang terjadi pada transformator mengakibatkan kenaikan suhu pada isolasi minyak dan selulosa transformator

4. *Deterioration*

Pemburukan kertas penyekat pada transformator yang disebabkan panas pada sambungan[3].

2.2 Isolasi Minyak Pada Transformator

Minyak transformator merupakan salah satu bahan isolasi cair yang dipergunakan sebagai isolasi dan pendingin pada transformator. Sebagian bahan isolasi minyak harus memiliki kemampuan untuk menahan tegangan tembus, sedangkan sebagai pendingin minyak transformator harus mampu meredam panas yang ditimbulkan, sehingga dengan kedua kemampuan ini maka minyak transformator diharapkan akan mampu melindungi transformator dari gangguan.

2.2.1 Jenis Isolasi Minyak Transformator

Minyak isolator transformator dapat dibedakan atas tiga jenis, yaitu minyak mineral, minyak sintetis, dan minyak organik. Minyak mineral merupakan minyak yang berbahan dasar dari pengolahan minyak bumi yaitu antara fraksi minyak diesel dan turbin yang mempunyai struktur kimia yang sangat kompleks. Pemilihan jenis minyak didasarkan pada keadaan lingkungan dimana transformator digunakan, misal askarel adalah jenis minyak sintetis yang tidak dapat mudah terbakar dan teroksidasi, sehingga pemakaian askarel memungkinkan transformasi distribusi dapat digunakan pada lokasi dimana bahaya api sangat besar. Isolasi minyak mineral merupakan minyak yang berasal dari minyak bumi yang diproses secara destilasi, untuk mendapatkan tahanan yang tinggi dan stabilitas panas yang baik diperlukan beberapa proses destilasi. Isolasi minyak sintetis merupakan minyak yang diproses secara kimia untuk mendapatkan karakteristik yang lebih baik dari isolasi minyak mineral namun isolasi minyak sintetis memiliki kekurangan, yaitu berbahaya terhadap lingkungan. Isolasi Minyak Organik merupakan minyak yang diperoleh dari ekstraksi beberapa tumbuhan seperti jarak, kedelai, dan kelapa[6].

2.2.2 Karakteristik Fisik Isolasi Minyak

Isolasi minyak transformator yang baik mempunyai karakteristik fisik diantaranya, yaitu :

1. Kejernihan

Kejernihan penampilan dilihat dari warna minyak, warna minyak yang baik memiliki warna yang jernih, bersih, dan bebas endapan. Selama transformator dioperasikan, isolasi minyak akan melarutkan suspensi atau endapan. Semakin banyak isolasi minyak mengalami endapan yang terlarut, maka warna minyak akan semakin gelap.

2. Viskositas

Viskositas minyak adalah suatu hal yang sangat penting karena minyak transformator yang baik akan memiliki viskositas yang rendah, sehingga dapat bersirkulasi dengan baik dan akhirnya pendinginan inti dan belitan transformator dapat berlangsung dengan baik pula. Nilai viskositas untuk minyak baru harus $\leq 18 \text{Cst}$. Uji viskositas hanya dilakukan untuk minyak isolasi baru. Metoda yang dipakai mengacu pada ISO 3104.

3. Massa Jenis

Minyak transformator harus mempunyai massa jenis yang kecil, agar partikel-partikel dalam minyak dapat mengendap dengan cepat. Massa jenis merupakan perbandingan massa suatu volume cairan pada suhu $15,56^{\circ}\text{C}$ dengan massa volume air. Massa jenis isolasi minyak transformator harus lebih ringan dari pada massa jenis air.

4. Titik Nyala

Titik nyala dari minyak transformator yang baru tidak boleh lebih kecil dari 135°C , sedangkan suhu minyak bekas tidak boleh kurang dari 130°C . Flash point (titik nyala) suatu minyak transformator perlu diketahui dengan pertimbangan keamanan. IEC menetapkan pengujian titik nyala minyak transformator dengan menggunakan metode pensky martin tertutup. Karakteristik titik nyala minyak menentukan terjadinya penguapan dalam minyak. Jika titik nyala minyak rendah, mengidentifikasikan terdapat kandungan yang bersifat volatile combusite, sehingga minyak akan mudah menguap dan menyebabkan volume minyak akan berkurang yang pada akhirnya minyak semakin kental (viskositasnya semakin tinggi).

5. Titik Tuang

Titik tuang dipakai untuk mengidentifikasi dan menentukan jenis peralatan yang akan menggunakan minyak isolasi. Titik tuang merupakan nilai batas isolasi minyak akan terus mengalir saat didinginkan pada temperatur di bawah normal. Semakin rendah nilai titik tuang semakin baik isolasi minyak transformator[5].

2.2.3 Karakteristik Elektrik Isolasi Minyak

Isolasi minyak transformator yang baik mempunyai karakteristik fisik diantaranya, yaitu :

1. Tegangan Tembus
Tegangan tembus yang terlalu rendah menunjukkan adanya kontaminasi seperti air, kotoran atau partikel konduktif dalam minyak. Tegangan tembus disini merupakan nilai batas kemampuan untuk menahan tekanan elektrik. Kandungan air dan partikel-partikel pada isolasi minyak dapat menurunkan nilai batas tegangan tembus. Sehingga isolasi minyak yang baik memiliki batas tegangan tembus yang tinggi.
2. Tahanan Jenis
Tahanan jenis yang rendah menunjukkan adanya kontaminasi yang bersifat konduktif (conductive contaminants).Nilai tahanan jenis sangat berpengaruh pada kontaminan yang bersifat konduktif, semakin banyak kontaminan konduktif maka semakin rendah tahanan jenis isolasi minyak.
3. Faktor Disipasi Dielektrik
Harga yang tinggi dari faktor ini menunjukkan adanya kontaminasi atau hasil kerusakan (deterioration product) misalnya air, hasil oksidasi, logam alkali koloid bermuatan dan sebagainya.Faktor disipasi elektrik merupakan ukuran dari rugi-rugi dielektrik minyak. Tingginya nilai faktor disipipasi dielektrik menunjukkan adanya kontaminasi atau kerusakan disebabkan oleh air, hasil oksidasi, koloid bermuatan, logam alkali, dan lainnya. Faktor disipasi dielektrik berhubungan dengan tahanan jenis, sehingga tingginya faktor nilai disipasi dielektrik akan menunjukkan rendahnya tahanan jenis minyak.

2.2.4 Karakteristik Kimia Isolasi Minyak

Isolasi minyak transformator yang baik mempunyai karakteristik kimia diantaranya, yaitu :

1. Kadar Asam
Standar nilai kandungan asam menurut ASTM D 3487 adalah kurang dari 0,03 mgKOH/gr. Kandungan asam cenderung bertambah karena pengaruh umur. Pengaruh lingkungan dan usia pengoperasian minyak yang tidak sama, menyebabkan kandungan asamnya juga berbeda. Asam bisa timbul apabila terjadi pemanasan yang berlebih (thermal stress) pada

minyak. Hal ini akan terus berlangsung seiring dengan usia pengoperasian minyak transformator.

2. Stabilitas Oksidasi

Stabilitas oksidasi merupakan nilai untuk mempertahankan dari proses oksidasi yang terjadi pada isolasi minyak. Proses oksidasi menyebabkan bertambahnya kecenderungan isolasi minyak untuk membentuk zat asam dan zat padat (pengotor) yang akan membentuk endapan. Zat asam yang dibentuk akan menyebabkan korosi pada logam dalam peralatan transformator sedangkan zat padat akan menyebabkan naiknya viskositas kinematik sehingga konduktivitas termak menjadi terganggu. Isolasi minyak diharapkan memiliki stabilitas oksidasi yang tinggi dan kemampuan pelarutan yang rendah sehingga presentase terjadinya proses oksidasi semakin kecil.

3. Kadar Air

Hal yaang sangat berpengaruh pada kekuatan isolasi cair adalah terdapatnya air dalam bentuk titik-titik air yang masuk kedalam cairan isolasi. Kekuatan isolasi ini akan turun dengan tajam jika didalam air tersebut terdapat kotoran-kotoran atau serat-serat. Nilai kandungan air berpengaruh terhadap tegangan tembus dan tahanan jenis isolasi minyak. Naiknya temperatur akan menyebabkan air mengalir dari isolasi kertas menuju isolasi minyak dan menurunkan tegangan tembus. Isolasi minyak yang baik mempunyai nilai kandungan air serendah mungkin[5].

2.3 Mekanisme Kegagalan Isolasi Cair Di Transformator

Ada beberapa alasan mengapa isolasi cair digunakan, antara lain yang pertama adalah isolasi cair memiliki kerapatan 1000 kali atau lebih dibandingkan dengan isolasi gas, sehingga memiliki kekuatan dielektrik yang lebih tinggi menurut hukum Paschen. Kedua isolasi cair akan mengisi celah atau ruang yang akan diisolasi dan secara serentak melalui proses konversi menghilangkan panas yang timbul akibat rugi energi. Ketiga isolasi cair cenderung dapat memperbaiki diri sendiri (self healing) jika terjadi pelepasan muatan (discharge). Namun kekurangan utama isolasi cair adalah mudah terkontaminasi.

Beberapa macam faktor yang diperkirakan mempengaruhi kegagalan minyak transformator seperti luas daerah elektroda, jarak

celah (gap spacing), pendinginan, perawatan sebelum pemakaian (elektroda dan minyak), pengaruh kekuatan dielektrik dari minyak transformator yang diukur serta kondisi pengujian atau minyak transformator itu sendiri juga mempengaruhi kekuatan dielektrik minyak transformator.

2.3.1 Teori Kegagalan Elektronik

Teori ini merupakan perluasan teori kegagalan dalam gas, artinya proses kegagalan yang terjadi dalam zat cair dianggap serupa dengan yang terjadi dalam gas. Oleh karena itu supaya terjadi kegagalan diperlukan elektron awal yang dimasukkan kedalam zat cair. Elektron awal inilah yang akan memulai proses kegagalan.

Jika elektroda memiliki bagian permukaan tidak rata (ada yang runcing) maka kuat medan yang terbesar terdapat pada bagian yang runcing tersebut. Kuat maksimum ini akan mengeluarkan elektron e1 yang akan memulai terbentuknya banjir elektron. Elektron yang dihasilkan e1, e2, e3 dan en yang kemudian akan menyebabkan timbulnya arus konduksi dalam zat cair pada kuat medan yang tinggi. Arus yang timbul mempunyai kerapatan (Schottky) :

$$J = J_t e^{\frac{4.4\sqrt{E}}{T}} \left[\frac{A}{cm^2} \right] \quad (2.1)$$

dengan,

$$J_t = AT^2 e^{-\frac{\phi}{kT}} \quad (2.2)$$

$$E = ME_a \quad (2.3)$$

dimana, J = Kereapatan arus konduksi [Acm^{-2}]

J_t = Kerapatan arus termionik [Acm^{-2}]

E_a = Kuat medan yang diterapkan [Vcm^{-1}]

M = Faktor ketidakrataan permukaan (=10 untuk permukaan halus)

Persamaan diatas menunjukkan ketergantungan pada keadaan suhu pada media isolasi cair. Kondisi yang memungkinkan terjadinya banjir elektron, didapatkan dengan menyamakan perolehan energi pada elektron yang menempuh lintasan sebesar rata-rata, yaitu

$$U_1 = F\lambda = e E \lambda \quad (2.4)$$

Dengan energi yang diperlukan untuk mengionisasi molekul

$$U_2 = ch \quad (2.5)$$

dimana, E = medan yang diterapkan [Vcm^{-1}]

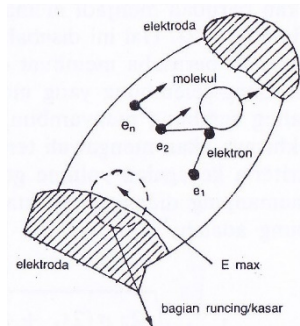
U = energi [$Joule$]

F = gaya [$Newton$]

λ = lintasan bebas rata – rata [cm]

h = kuantum energi untuk mengionisasikan molekul [$joule$]

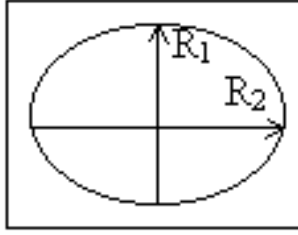
c = konstanta



Gambar 2.9 Kegagalan Elektronik[4]

2.3.2 Teori Kegagalan Bola Cair

Jika suatu zat isolasi mengandung sebuah bola cair dari jenis cairan lain, maka dapat terjadi kegagalan akibat ketidakstabilan bola cair tersebut dalam medan listrik. Medan listrik akan menyebabkan tetesan bola cair yang tertahan didalam minyak yang memanjang searah medan dan pada medan yang kritis tetesan inimenjadi tidak stabil. Kanal kegagalan akan menjalar dari ujung tetesan yang memanjang sehingga menghasilkan kegagalan total. Bola cair yang dikenai medan E akan berubah bentuk menjadi sferoida seperti ditunjukkan dalam gambar berikut dengan medan di dalamnya sebesar E_2 , sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut :



Gambar 2.10 Medan listrik berbentuk Sferoida[4]

$$E_2 = \frac{\varepsilon_1 E}{\varepsilon_1 - (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)G} \quad (2.6)$$

dimana, $G = \frac{1}{\gamma^2 - 1} \left\{ \frac{\gamma \cos^{-1} \gamma}{(\gamma^2 - 1)} - 1 \right\}$ dan $\gamma = \frac{R_2}{R_1}$
 R_2 = jari-jari panjang sferoida [cm]
 R_1 = jari-jari pendek sferoida [cm]
 ε_1 = permitivitas media isolasi cair
 ε_2 = permitivitas bola cair

Persamaan kuat medan listrik dalam media isolasi cair, yaitu :

$$E = 600 \sqrt{\left(\frac{\pi \sigma}{\varepsilon_1 R} \right) \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} - G \right) H} \quad (2.7)$$

dimana, $H = 2\gamma^{\frac{1}{3}} \left(2\gamma - 1 - \frac{1}{\gamma^2} \right)$
 $R = \frac{3}{4\pi}$ volume sferoida [cm³]
 σ = gaya tegangan permukaan [Nm⁻¹]

Kemudian bentuk persamaan di atas dapat ditulis menjadi :

$$\frac{E}{600 \sqrt{\frac{\pi \sigma}{\varepsilon_1 R}}} = \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} - G \right) H} \quad (2.8)$$

2.3.3 Teori Kegagalan Gelembung atau Kavitasi Pada Zat Zair

Kegagalan gelembung atau kavitasi merupakan bentuk kegagalan isolasi zat cair yang disebabkan oleh gelembung-gelembung gas didalamnya. Hal-hal yang menjadi penyebab timbulnya gelembung gas (Kao dan Krasucki) adalah :

- Permukaan elektroda tidak rata, sehingga terjadi kantong kantong udara dipermukaannya
- Adanya tabrakan elektron sehingga terjadi produk-produk baru berupa gas
- Penguapan cairan karena adanya lucutan pada bagian bagian elektroda yang tajam dan tidak teratur
- Zat cair mengalami perubahan suhu dan tekanan

Medan listrik dalam gelembung udara yang terdapat pada media isolasi cair dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

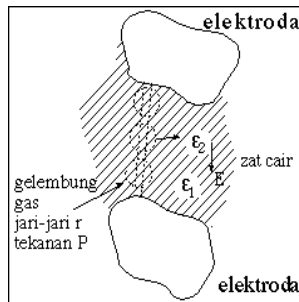
$$E_b = \frac{3\varepsilon_1 E_0}{2\varepsilon_1 + 1} \quad (2.9)$$

dimana, E_b = medan listrik dalam gelembung udara [Vcm^{-1}]

ε_1 = permitivitas media isolasi cair

E_0 = medan listrik dalam media cair tanpa gelembung [Vcm^{-1}]

Bila E_b sama dengan batas medan ionisasi gas, maka akan terjadi lucutan pada gelembung. Hal ini akan mempercepat pembentukan gas karena dekomposisi zat cair dan dapat mengakibatkan kegagalan isolasi. Bentuk pengaruh medan terhadap gelembung udara ditunjukkan pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Kegagalan kavitas pada media isolasi cair[4]

Karena pengaruh medan yang kuat diantara elektroda maka gelembung-gelembung udara dalam cairan tersebut akan berubah menjadi memanjang searah dengan medan. Gelembung-gelembung tersebut akan saling sambung menyambung dan membentuk jembatan yang akhirnya akan mengawali terjadinya kegagalan. Kekuatan gagal medan gelembung udara adalah, sebagai berikut:

$$E_0 = \frac{1}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} \sqrt{\frac{2\pi\sigma(2\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}{r}} \left[\frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{v_b}{2rE_0}} - 1 \right] \quad (2.10)$$

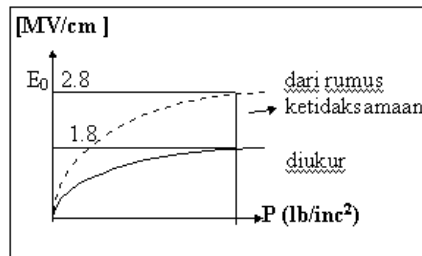
Dimana, σ = gaya tegangan (*tension*) permukaan media cair [Nm^{-1}]

ε_1 = permitivitas media cair

ε_2 = permitivitas gelembung

ε_2 = jari-jari awal gelembung(dianggap seperti bola)[cm]

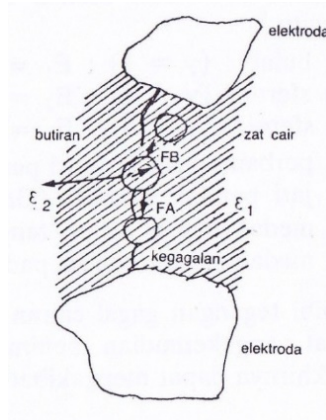
V_b = jatuh tegangan dalam gelembung [V]



Gambar 2.12 Grafik perbandingan hasil perhitungan sesuai dengan teori kekuatan gagal medan gelembung dengan hasil percobaan[4]

2.3.4 Teori Kegagalan Butiran Padat Dalam Cairan

Kegagalan butiran padat adalah jenis kegagalan yang disebabkan oleh adanya butiran zat padat (partikel) didalam isolasi cair yang akan memulai terjadi kegagalan. Jika butiran-butiran padat mempunyai permitivitas ε_2 dan permitivitas media isolasi cair adalah ε_1 , dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Kegagalan butiran padat dalam media isolasi cair[4]

Besarnya gaya yang bekerja pada butiran padat dalam medan yang tak seragam dapat dinyatakan dalam rumus, yaitu :

$$F = r^3 \epsilon_1 \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{\epsilon_2 + \epsilon_1} E \text{ grad } E \quad (2.11)$$

Dimana, F = gaya [Newton]

r = jari-jari butiran [cm]

$\text{grad } E$ = gradien tegangan [Vcm^{-1}]

Secara khusus, persamaan di atas dapat ditulis menjadi seperti:

$$F = \left(\frac{1}{2r^3} \right) \left(\frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{\epsilon_2 + \epsilon_1} \right) E^2 \text{ grad} \quad (2.12)$$

Untuk persamaan di atas terdapat dua kemungkinan yang terjadi, yaitu :

1. Jika $\epsilon_2 > \epsilon_1$, maka menyebabkan arah gaya yang bekerja pada butiran padat menjadi searah dengan tekanan elektrik maksimum (F_A), sehingga butiran padat akan terdorong ke arah medan yang paling kuat.
2. Jika $\epsilon_2 < \epsilon_1$, maka arah gaya berlawanan dengan tekanan listrik maksimum (F_B)

Untuk medan yang seragam, seperti elektroda bola ataupun pada elektroda piringan sejajar dengan celah kecil, medan paling kuat bertempat pada tempat yang seragam. Dalam hal ini $E^2 \text{ grad} = 0$ dan butiran dalam keadaan seimbang. Karena itu, butiran akan ditarik oleh gaya ke tempat dimana medan seragam. Akibatnya butiran padat akan menempati antara kedua elektroda dan seakan membuat jembatan yang dapat disebut jembatan serat, kemudian jembatan serat ini yang akhirnya akan mengawali terjadinya kegagalan pada media isolasi cair.

2.4 Gas Terlarut Pada Minyak Transformator

Minyak trafo merupakan sebuah campuran kompleks dari molekul-molekul hidrokarbon, dalam bentuk linear atau siklis, yang mengandung kelompok molekul CH_3 , CH_2 dan CH yang terikat. Pemecahan beberapa ikatan antara unsur CH dan C-C sebagai hasil dari kegagalan termal ataupun elektrik akan menghasilkan fragmen-fragmen ion seperti H^* , CH_3^* , CH_2^* , CH^* atau C^* , yang nantinya akan berekombinasi dan menghasilkan molekul-molekul gas seperti hidrogen (H-H), metana ($\text{CH}_3\text{-H}$), etana ($\text{CH}_3\text{-CH}_3$), etilen ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$) ataupun asetilen ($\text{CH}\equiv\text{CH}$). Gas-gas ini dikenal dengan istilah fault gas.

Mineral Oil	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & & & & & & \\ -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{H} \\ & & & & & & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$	$\text{C}_{20}\text{H}_{42-2}$	Ethylene	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{C} & = & \text{C} \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$	C_2H_4
Hydrogen	H-H	H_2	Acetylene	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{C} & \equiv & \text{C} \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$	C_2H_2
Methane	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	CH_4	Carbon Dioxide	$\text{O}=\text{C}=\text{O}$	CO_2
			Carbon Monoxide	$\text{C}\equiv\text{O}$	CO
Ethane	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$	C_2H_6	Oxygen	$\text{O}=\text{O}$	O_2
			Nitrogen	$\text{N}\equiv\text{N}$	N_2

Gambar 2.14 Struktur Kimia Minyak Isolator dan Gas-gas Terlarut pada Minyak Isolator

2.5 Ketahanan Isolasi Terhadap Tegangan Tembus

Ketahanan isolasi terhadap tegangan tembus mengacu pada standar IEC 60422 tentang *Dielectric strength*. Penerapan isolasi minyak pada peralatan listrik dibagi menjadi beberapa kategori berdasarkan penilaian tegangan kerja dari sebuah peralatan listrik. Kategori yang dibagi berdasarkan IEC 60422, adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2Kategori peralatan berdasarkan tegangan operasinya[8]

Kategori	Tipe Peralatan
O	Transformator daya/reaktor dengan sistem tegangan nominal sama dengan dan diatas 400 kV
A	Transfomator daya/reaktor dengan sistem tegangan nominal diatas 170 kV dan dibawah 400 kV. Juga untuk transformator yang dinilai untuk melayani beban penting.
B	Transformator daya/reaktor dengan sistem tegangan nominal diatas 72.5 kV dan dibawah 170 kV
C	Transformator daya/reaktor untuk aplikasi MV/LV misalnya sistem tegangan dengan nominal sampai dengan 72.5 kV Isolasi minyak pada <i>circuit breaker</i> dengan sistem tengang diatas 72.5 kV Isolasi minyak pada <i>switch</i> , seperti <i>metal-enclosed switchgear</i> dan perlengkapan kendali dengan sistem teganagan sama dengan atau lebih besar dari 16 kV
D	Instrumen/proteksi transformator dengan sistem tegangan nominal diatas 170 kV
E	Instrumen/proteksi transformator dengan sistem tegangan nominal sampai dengan 170 kV
F	<i>Diverter tanks</i> pada <i>on-load tap-changers</i> (OLTC), termasuk <i>combined selector/diverter tank</i>
G	Isolasi minyak pada <i>circuit breaker</i> dengan sistem tegangan sampai dengan 72.5 kV Isolasi minyak pada <i>switch</i> , seperti <i>metal-enclosed switchgear</i> dan perlengkapan kendali dengan sistem tegangan di bawah 16 kV

Dari tabel 2.2 dapat ditentukan kategori untuk sistem isolasi minyak pada transformator daya sesuai dengan sistem tengangan nominal. Sedangkan untuk klasifikasi tes tegangan tembus dari kategori peralatan transformator, adalah sebagai berikut:

Tabel 2.3 Aplikasi dan interpretasi dari tes pengujian tegangan tembus[9]

Jenis pengujian	Kategori	Batas rekomendasi		
		Baik	Sedang	Buruk
Tes tegangan tembus (kV)	O, A, D	>60	50-60	<50
	B, E	>50	40-50	<40
	C	>40	30-40	<30
	F	<30 kV untuk OLTC pada aplikasi titik belitan bintang <40 kV untuk OLTC pada aplikasi titik belitan delta		
	G	<30		

Ketahanan isolasi terhadap tegangan tembus dengan model kegagalan menggambarkan isolasi minyak akan terjadi kegagalan pada suatu waktu. Dalam keadaan umum isolasi minyak yang di uji dengan pengujian tegangan tembus menghasilkan hasil yang terus menurun. maka waktu durasi dari umur isolasi minyak tersebut akan berkurang. Dalam standar perhitungan sesuai ANSI/IEEE Std 930 -1987 “*IEEE Guide for the Statistical Analysis of Electricl Insulation Voltage Endurance Data*”. Dalam bentuk eksponensial adalah sebagai berikut[10].

$$L_e = c e^{(-hG)} \quad (2.13)$$

dimana, L_e = Waktu untuk terjadi kegagalan pada waktu tegangan yang ditentukan

c = konstanta eksperimen yang berdasarkan material yang bereaksi, kondisi reaksi, dan sistem dari unit

h = konstanta eksperimen yang berdasarkan material yang bereaksi, kondisi reaksi, dan sistem dari unit

G = nilai batas rekomendasi dari standar pengujian tegangan tembus

2.6 DGA (Dissolved Gas Analysis)

Salah satu metode untuk mengetahui ada tidaknya ketidaknormalan pada trafo adalah dengan mengetahui dampak dari ketidaknormalan trafo itu sendiri. Untuk mengetahui dampak ketidaknormalan pada trafo digunakan metoda DGA (Dissolved gas analysis).

Pada saat terjadi ketidaknormalan pada trafo, minyak isolasi sebagai rantai hidrokarbon akan terurai akibat besarnya energi ketidaknormalan dan akan membentuk gas-gas hidrokarbon yang larut dalam minyak isolasi itu sendiri. Pada dasarnya DGA adalah proses untuk menghitung kadar atau nilai dari gas-gas hidrokarbon yang terbentuk akibat ketidaknormalan. Dari komposisi kadar atau nilai gas-gas itulah dapat diprediksi dampak-dampak ketidaknormalan apa yang ada di dalam trafo baik itu berupa overheat, arcing atau corona.

Gas gas yang dideteksi dari hasil pengujian DGA adalah H₂ (hidrogen), CH₄ (Methane), N₂ (Nitrogen), O₂ (Oksigen), CO (Carbon monoksida), CO₂ (Carbondioksida), C₂H₄ (Ethylene), C₂H₆ (Ethane), C₂H₂ (Acetylene).

Dengan pengujian gas terlarut akan memberikan informasi-informasi terkait akan kesehatan dan kualitas kerja transformator secara keseluruhan. Keuntungan utama dari pengujian DGA (Dissolved Gas Analysis) adalah deteksi dini akan adanya fenomena kegagalan yang ada pada transformator yang diujikan, sehingga dapat dilakukan langkah preventif. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian DGA antara lain pengambilan sampel uji, ekstraksi gas, interpretasi data dan pengambilan kesimpulan.

2.7 Metode Ekstraksi Gas

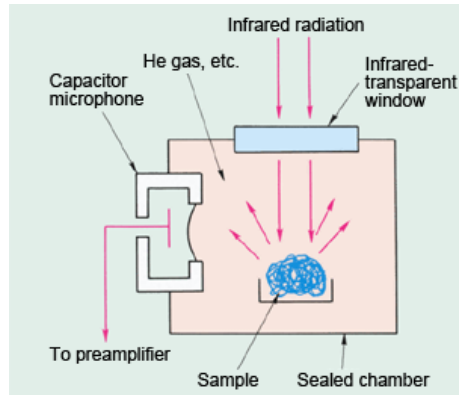
Terdapat beberapa metode yang dapat dilakukan untuk mengekstraksi gas dari sampel minyak yang telah diambil, yaitu :

1. Gas Chromatograph

Metode ini dilakukan dengan cara memisahkan zat-zat tertentu dari sebuah senyawa gabungan berdasarkan tingkat penguapannya (volatility). Gas yang diuji pada metode ini meliputi Hidrogen H₂, Oksigen O₂, Nitrogen N₂, Methan CH₄, Ethan C₂H₆, Ethilen C₂H₄, Acetylen C₂H₂, Karbon Monoksida CO dan Karbon Dioksida CO₂.

2. Photo Acoustic Spectroscopy

Dengan radiasi gelombang elektromagnetik dalam menentukan gas terlarut.



Gambar 2.15Photo Acoustic Spectroscopy

2.8 Metode Interpretasi Data Uji DGA (Dissolved Gas Analysis)

Terdapat beberapa metode untuk melakukan interpretasi data dan analisis seperti yang tercantum pada IEEE std.C57 –104.1991 dan IEC 60599, yaitu :

1. TDCG (Total Dissolved Combustible Gas)

Pada metode ini, analisa jumlah total gas terlarut tersebut akan menunjukkan apakah keadaan minyak transformator yang sedang diujikan tersebut masih berada pada kondisi operasi normal, waspada, peringatan atau kondisi kritis.

Tabel 2.4 Batas konsentrasi gas terlarut berdasarkan IEEE std.C57-104.1991

Batas Konsentrasi Gas Terlarut (ppm)								
Status	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂	TDCG
Kondisi 1	100	120	35	50	65	350	2500	720
Kondisi 2	101-	121-	36-50	51-100	66-100	351-570	2500-4000	721-1920
Kondisi 3	701-	401-	51-80	101-	101-	571-1400	4001-10000	1921-4630
Kondisi 4	>1800	>1000	>80	>200	>150	>1400	>10000	>4630

- Pada Kondisi 1, transformator beroperasi secara normal. Namun tetap perlu dilakukan pemantauan terhadap kondisi gas-gas tersebut.

- Pada Kondisi 2, tingkat TDCG mulai tinggi. Ada kemungkinan timbul gejala-gejala kegagalan yang harus mulai diwaspadai. Perlu dilakukan pengambilan sampel minyak yang lebih rutin dan sering untuk dilakukan pengujian lebih lanjut
 - Pada Kondisi 3, TDCG pada tingkat ini menunjukkan adanya dekomposisi dari isolasi kertas atau minyak transformator. Berbagai kegagalan mungkin saja sudah terjadi. Pada kondisi ini transformator sudah harus diwaspadai dan perlu dilakukan perawatan lebih lanjut
 - Pada Kondisi 4, TDCG pada tingkat ini menunjukkan adanya dekomposisi atau kerusakan pada isolator kertas atau minyak transformator sudah meluas.
2. Key Gas
- Key gas didefinisikan oleh IEEE std.C57 – 104.1991 sebagai gas-gas yang terbentuk pada transformator pendingin minyak yang secara kualitatif dapat digunakan untuk menentukan jenis kegagalan yang terjadi, berdasarkan jenisgas yang khas atau lebih dominan terbentuk pada berbagai temperatur.

Tabel 2.5 Karakteristik gangguan dengan metode Keygas

No	Keygas	Diagnosis
1	C_2H_4	Thermal Oil
2	CO	Thermal Cellulose
3	H_2	Partial Discharge
4	$H_2 + C_2H_2$	Arching

Pada metode Keygas yang digunakan sebagai indikator gangguan adalah Hidrogen, Karbon Monoksida, Metana, Ethylene, Etana, dan Acetilena. Komposisi jumlah gas secara individu yang menonjol digunakan untuk mempresentasikan kegagalan yang terjadi pada transformator. Hal ini ditunjukkan seperti pada tabel 2.5.

3. Roger Ratio
- Magnitude rasio lima jenis fault gas digunakan untuk menciptakan tiga digit kode. Kode-kode tersebut akan menunjukkan indikasi dari penyebab munculnya fault gas.

Tabel 2.6 Karakteristik gangguan dengan metode Roger Ratio[11]

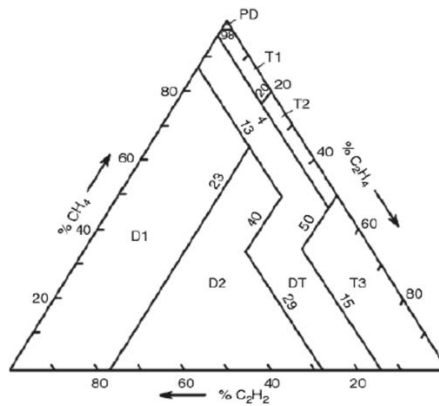
Range Code Ratio		$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$
<0,1		0	1	0
0,1-1		1	0	0
1-3		1	2	1
>3		2	2	2
Case	Tipe Gangguan			
1	Tidak terjadi Gangguan	0	0	0
2	Partial Discharge dengan energi rendah	1	1	0
3	Partial Discharge dengan energi tinggi	1	1	0
4	Discharge, sparking, arcing dengan energi rendah	1-2	0	1-2
5	Arcing, Discharge dengan energi tinggi	1	0	2
6	Gangguan panas dengan temperatur <150°C	0	0	1
7	Panas dengan temperatur rendah antara 150°C - 300°C	0	2	0
8	Panas dengan temperatur tinggi antara 300°C - 700°C	0	2	1

4. Duval's Triangle

Segitiga Duval memaparkan analisis tentang konsentrasi gas yang terkandung dan ditentukan oleh tiga jenis gas yaitu CH₄, C₂H₄, dan C₂H₂. Titik area ditentukan dari nilai prosentase salah satu gas dibandingkan dengan jumlah ketiga gas tersebut, kemudian ditarik garis ke satu titik di tengah area segitiga, sehingga di titik tersebutlah hasil diagnosis kegagalan dari transformator. Metode Duval diciptakan untuk membantu metode-metode analisis yang lain. Pada tabel 2.7 menjelaskan jenis gangguan dari hasil analisa gas dengan metode segitiga duval, dan pada Gambar 2.16 adalah hasil analisa yang dilakukan.

Tabel 2.7 Karakteristik gangguan dengan metode Duval

No.	Region	Diagnosis
1	PD	Partial Discharge
2	D1	Low-range thermal fault (below 300°C)
3	D2	Medium-range thermal fault (300-700°C)
4	T1	High-range thermal fault (above 700°C)
5	T2	Low-energy electrical discharge
6	T3	High-energy electrical discharge
7	D+T	Indeterminate – thermal fault or electrical



Gambar 2.16 Duval's Triangel

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

PENGUJIAN MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR

Dalam bab ini akan dijelaskan tentang identifikasi masalah, metodologi penelitian, dan eksperimen untuk mengetahui karakteristik minyak isolasi transformator yang akan diujikan.

3.1 Identifikasi Masalah

Permasalahan yang terjadi pada transformator umumnya dikarenakan pembebanan transformator yang berlebihan dalam waktu terus-menerus, sehingga berakibat buruk pada kondisi dan karakteristik transformator serta isolasinya. Akibat pemakaian pada kondisi 100% secara terus menerus, akan timbul titik-titik panas pada daerah internal dari transformator yang biasa disebut sebagai temperature hotspot, yang apabila dibiarkan akan menyebabkan degradasi pada isolasi transformator tersebut, terutama isolasi cair berupa minyak yang biasa dikenal sebagai minyak transformator.

Keberadaan isolasi sangat penting karena selain berfungsi sebagai pemisah antara bagian inti transformator, isolasi ini berfungsi juga sebagai pendingin transformator sehingga mampu meminimalisir panas yang timbul pada transformator. Apabila minyak transformator berada dalam keadaan panas selama beberapa waktu, maka minyak ini akan mendidih dan menghasilkan uap-uap air pada bagian langit-langit dari transformator. Kemudian, uap-uap air yang timbul akibat pemanasan minyak tersebut akan jatuh ke dalam minyak transformator dan akan mengendap pada isolator inti dan juga pada bagian inti transformator itu sendiri, terdapatnya kandungan air pada isolasi minyak, serta kemungkinan terjadinya peluruhan isolasi kertas pada transformator akibat perubahan tingkat keasamannya, memengaruhi kinerja isolasi minyak transformator. Ketiga faktor tersebut tentu saja dapat mempengaruhi terjadinya degradasi tegangan tembus dari minyak transformator, karena kemurnian dari minyak transformator sudah berkurang. Dari ketiga faktor diatas, dapat dilihat pengaruhnya terhadap kegagalan isolasi dan degradasi tegangan tembus dari minyak transformator.

3.2 Metodologi Penelitian

Objek eksperimen yang diuji adalah isolasi minyak transformator daya yang dalam kondisi baru, isolasi minyak transformator diberikan

oleh Pertamina RU-II Dumai. Pada eksperimen ini sampel uji dilakukan pengujian tegangan tembus pada sampel minyak isolasi transformator yang sudah diambil. Pengujian tegangan tembus pada isolasi minyak dilakukan dengan standart IEC 60156, dimana menggunakan dua buah elektroda dengan jarak 2.5 mm. Nilai tegangan tembus yang baik dalam isolasi minyak transformator memiliki nilai antara 40kV-60kV lebih tinggi dari nilai tersebut lebih baik.

Setelah melakukan pengujian tegangan tembus akan dilanjutkan dengan pengujian DGA (Dissolved Gas Analysis). Pada pengujian DGA, metode interpretasi data uji DGA yang digunakan adalah TDCG yang nantinya akan diketahui keadaan minyak transformator yang sedang diujikan tersebut.

Setelah data diperoleh dari hasil observasi dan pengujian, maka dilakukan pengolahan data untuk mengetahui hasil dari pengujian DGA tersebut masuk kedalam kondisi yang mana berdasarkan IEEEStd.C57-104.1991.

3.3 Pengujian Tegangan Tembus

Setelah sampel minyak diperoleh dari transformator, selanjutnya akan dilakukan pengujian tegangan tembus menggunakan alat ukur dengan berdasarkan standar IEC 60156. Pengujian tegangan tembus dilakukan di Pertamina RU II Dumai. Standar IEC 60156 dengan dua buah elektroda yang berjarak 2.5 ± 0.05 mm tetapi jika sudah batas tidak terjadi tegangan tembus maka jarak kedua elektroda 1.5 ± 0.05 mm. Pengisian pada wadah alat ukur tegangan tembus, sampel uji minyak isolasi transformator harus mengisi wadah pengujian dan menutupi seluruh bagian elektroda.

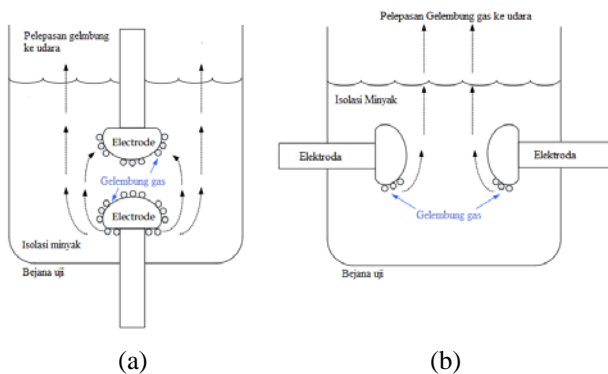
Berikut adalah tahap-tahap sebelum melakukan pengujian tegangan tembus menggunakan alat Phenix Technology LD75, diantaranya adalah:

- a. Persiapan umum
 - Persiapkan sampel minyak isolasi transformator yang ingin diuji dan pastikan tidak ada gelembung udara
 - Buka penutup kaca pada Phenix Technology LD75
 - Keluarkan kotak pengujian isolasi cair
 - Pilih elektroda sesuai standar IEC 60156
 - Atur jarak kedua buah elektroda sampai dengan 2.5 mm dengan memutar pengatur jarak maju mundur elektroda
 - Kemudian pastikan jarak menggunakan alat ukur

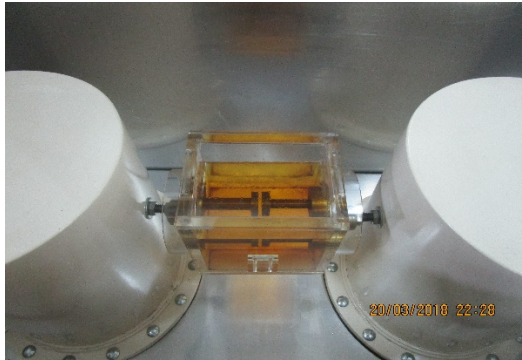


Gambar 3.1 Alat uji tegangan tembus Phenix Technology LD75 di Pertamina RU II Dumai

Dalam hal ini posisi elektroda haruslah dipasang secara horizontal. Karena jika elektroda tersebut dipasang secara vertikal seperti gambar 3.2(a), maka gelembung gas yang terbentuk setelah terjadi tegangan tembus akan mencoba terlepas dan melayang menuju udara, namun banyak dari gelembung gas ini justru akan terperangkap didalam isolasi minyak karena dihalangi oleh posisi elektroda bagian atas. Akan tetapi jika elektroda dipasang secara horisontal seperti gambar 3.2(b), maka gelembung gas yang terbentuk akan dengan mudah terlepas dan leayang ke udara tanpa ada halangan.



Gambar 3.2 Proses jalanya arah gelembung gas pada posisi elektroda vertikal(a). Proses jalanya arah gelembung gas pada posisi elektroda horisontal(b). [7]



Gambar 3.3 Bejana pengujian tegangan tembus pada Phenix Technology LD75

- b. Prosedur pengujian tegangan tembus
 - Hidupkan peralatan uji yaitu Phenix Technology LD75 dengan menekan tombol daya ON pada panel kontrol sehingga peralatan uji akan menyala.
 - Kemudian peralatan uji akan melakukan pengujian sendiri (*self-test*) selama 15 detik
 - Pindahkan saklar ke posisi START, maka alat akan bekerja secara otomatis menaikkan voltage.
 - Ketika terjadi kegagalan, maka lampu indikator kegagalan akan menyala dan akan menahan level tegangan tembus.
 - Untuk melakukan pengujian ulang, pindahkan saklar ke posisi RESET dan tunggu agar alat dalam kondisi semula.
 - Setelah itu lakukan langkah seperti yang sebelumnya.

3.4 Fenomena Saat Pengujian Tegangan Tembus

Untuk mendapatkan nilai tegangan tembus pada sampel minyak, maka dimulai dengan menaikkan tegangan uji secara bertahap, saat kondisi sampel uji mendekati nilai tegangan tembusnya, akan timbul suara mendesis. Hal ini terjadi karena adanya tekanan yang terus-menerus dan semakin besar pada sampel minyak isolasi transformator.

Pada saat terjadi tegangan tembus pada sampel uji minyak transformator akan timbul suara ledakan. Fenomena ini lebih disebabkan

karena terjadi tumbukan elektron dan tekanan impulsif (semakin besar secara tiba-tiba) pada minyak isolasi transformator.

Dalam kondisi sesudah terjadi tegangan tembus akan timbul gelembung gas dan kabut hitam (arang) pada sampel minyak. Hal ini disebabkan oleh :

1. Permukaan elektroda tidak rata, sehingga terdapat kantong-kantong udara dipermukaannya
2. Adanya tabrakan elektron saat terjadi tegangan tembus, sehingga muncul produk-produk baru berupa gelembung gas atau arang.
3. Adanya penguapan cairan karena lucutan pada bagian-bagian elektroda yang tajam dan tak teratur
4. Zat cair dikenai perubahan suhu dan tekanan

3.5 Pengujian DGA (Dissolved Gas Analysis)

Setelah pengujian tegangan tembus, selanjutnya dilakukan pengujian dengan menggunakan metode DGA (Dissolved Gas Analysis). Pada pengujian DGA menggunakan alat produksi Morgan Schaffer yaitu Myrkos Portable DGA MicroGC yang juga menggunakan aplikasi PPMreport. Jadi pada alat pengujian DGA ini menggunakan metode ekstraksi Gas Chromatograph. Gas-gas yang diuji dalam alat ini meliputi H₂ (Hidrogen), O₂ (Oksigen), N₂ (Nitrogen), CH₄ (Methan), C₂H₆ (Ethan), C₂H₄ (Ethilen), C₂H₂ (Acetylen), CO (Karbon Monoksida) dan CO₂ (Karbon Dioksida).

Berikut adalah tahap-tahap untuk mengoperasikan Myrkos yang dijelaskan dalam PPMreport, yaitu :

- Memulai Instrument
- Kalibrasi Instrument
- Kumpulkan Sampel Oli
- Siapkan Sampel Oli
- Ukur Sampel Oli
- Siapkan O₂ / N₂ Sampel Oli

Selanjutnya akan dijelaskan mengenai tahapan-tahapan yang lebih lengkap mengenai pengoperasian Myrkos yang tertera dalam aplikasi PPMreport.

1. Memulai Instrument

- Hubungkan baik kabel baterai atau adaptor Myrkos ke input panel dual power Myrkos

- Hubungkan Myrkos portable controller ke Myrkos menggunakan Ethernet Crossover
- Buka Valve penutup dari Carrier Gas Module agar gas carrier mengalir
- Hidupkan Myrkos
- Hidupkan Myrkos portable controller dan jalankan PPMreport
- Ikuti langkah-langkah Start Instrument di PPMreport. Klik tombol Connect untuk terhubung ke instrumen dan memulai tahap pemanasan. Fase pemanasan berlangsung 45 menit
- Selama suhu Channel A dan Saluran B diperbolehkan untuk mencapai set poin mereka. Langkah ini wajib untuk mendapatkan pengukuran yang akurat
- Waktu menunggu tahap pemanasan dapat dikurangi dengan menjalankan fase pemanasan saat berpergian ke site.

2. Kalibrasi Instrument

Kalibrasi Instrument Myrkos diperlukan hanya sekali pada awal masing-masing Hari analisis sampel oli dilakukan. Ikuti langkah-langkah kalibrasi Instrument di PPMreport untuk mengkalibrasi Myrkos.

Konsentrasi gas masing-masing komponen gas kalibrasi CALGAS dapat bervariasi dari botol ke botol. Selalu memperbarui nilai konsentrasi CALGAS di PPMreport saat menggunakan botol baru. Lihat label pada botol untuk konsentrasi masing-masing gas.



Gambar 3.4 Gas Kalibrasi CALGAS yang digunakan pada alat Myrkos

Hanya menggunakan tekanan positif kecil ketika menyuntikkan CALGAS dan sampel udara. Kekuatan yang berlebihan pada syringe piston mungkin merusak sistem injeksi sampel. Untuk mencegah kontaminasi sampel udara dan CALGAS, selalu menggunakan syringe AIR untuk sampel udara dan syringe CALGAS untuk sampel CALGAS, jangan menukar dua syringe.

3. Mengumpulkan Sampel Oli

Ikuti langkah-langkah kumpulkan sampel oli di PPMreport untuk mengumpulkan sampel oli menggunakan syringe Shake TestTM. Ketika mengumpulkan sampel oli, gunakan syringe Shake TestTM berbeda untuk setiap jenis oli (mineral, silikon atau FR3). Selalu membersihkan syringe setelah digunakan dan menyimpan dalam keadaan kosong untuk mencegah kebocoran.



Gambar 3.5 Syringe yang digunakan untuk mengambil sampel oil transformator

4. Siapkan Sampel Oli

Setelah sampel minyak dikumpulkan, ikuti langkah-langkah Prepare Oil Sample pada PPMreport untuk mempersiapkan sampel oli untuk analisis dengan menggunakan metode Shake TestTM. Metode Shake TestTM adalah teknik pengambilan sampel gas yang tepat dikembangkan oleh Morgan Schaffer. Ia menggunakan Shake TestTM Syringe untuk mendapatkan perbandingan volume tetap gas dan air. Pencampuran dua komponen dilakukan dengan penuh semangat mengocok syringe selama 30 detik untuk mendapatkan dua fase konsentrasi gas keseimbangan.



Gambar 3.6 Syringe Shaker yang digunakan sebelum pengujian DGA dengan menggunakan alat Myrkos

5. Mengukur Sampel Oli

Setelah sampel oli disiapkan, ikuti langkah-langkah Measure Oil Sample pada PPMreport untuk menganalisis sampel. Oil trap dipakai satu kali saja. Selalu menggunakan oil trap baru untuk menyuntikkan sampel gas dari Shake Test™ Syringe. Selalu membuang oil trap yang sudah terpakai atau menyimpannya dalam wadah teridentifikasi jelas.



Gambar 3.7 Selang oil trap yang digunakan pada pengujian menggunakan alat Myrkos sehingga gas dapat teridentifikasi

Untuk hasil DGA yang akurat, sampel minyak yang dikumpulkan haruslah mewakili minyak didalam trafo. Berikut adalah pertimbangan panduan saat mengumpulkan sampel minyak islasi transformator, yaitu :

1. Pengambilan sampel harus dilakukan pada hari yang cerah. Jangan mengambil sampel dengan kelembaban di atas 75%.
2. Shake Test TM Syringe harus diisi langsung dari sumber minyak.
 - Disarankan untuk menggunakan saluran Drain Valve bawah sebagai sumber sampel minyak.
 - Valve pengambilan sampel harus dibersihkan dan dibilas untuk menghilangkan minyak stagnan atau sisa dari valve.
 - Transformator harus berada dibawah tekanan positif. Jangan mengambil sampel jika transformator berada dalam kondisi vakum.
 - Minyak harus setidaknya hangat seperti suhu lingkungan. Minyak yang dingin bisa mengikat kelembaban dari udara lembab dan memberikan hasil yang buruk.
3. Sampel minyak yang akan dianalisis oleh Myrkos harus dikumpulkan dengan Shake TestTM Syringe.
 - Sebelum mengumpulkan sampel, Syringe harus dibersihkan dan dibilas dengan minyak transformator baru untuk menghilangkan gas fault sisa dari sampel sebelumnya.
 - Sampel yang dikumpulkan harus bebas gelembung. Jangan tarik psiton ketika mengisi syringe.
4. Sampel minyak harus dianalisis dalam waktu 48 jam saat mengumpulkan sampel.
 - Jauhkan sampel minyak dari sinar matahari langsung.
 - Setelah analisis, kosongkan syringe dan menyimpannya hanya berisi udara.
 - Jangan menyimpan minyak di syringe untuk jangka waktu yang lama (>1 minggu).



Gambar 3.8 Proses pengambilan sampel pada transformator 2

BAB IV

ANALISA DATA

Data yang sudah didapatkan dari hasil eksperimen, observasi, dan pengujian Breakdown Voltage dan DGA (Dissolved Gas Analysis) dikumpulkan, kemudian dianalisa untuk mengetahui perbandingan antara pengujian yang telah dilakukan dengan data dari Pertamina RU II Dumai yang sudah ada. Selanjutnya akan diketahui kegagalan apa yang sedang terjadi pada transformator yang sedang diujikan.

4.1 Analisa Karakteristik Minyak Isolasi Tranformator Dengan Metode Breakdown Voltage

Tegangan tembus merupakan satu indikator yang baik untuk menentukan kemampuan isolasi minyak dalam menjalankan fungsinya sebagai bahan isolasi cair pada peralatan transformator. Tegangan tembus juga menentukan seberapa jauh kekuatan suatu bahan isolasi menahan tegangan tinggi sampai terjadinya kegagalan tegangan tembus. Pada pengujian tegangan tembus pada penelitian ini, menggunakan alat ukur tegangan tembus yaitu Phenix Technology LD75 dengan dua buah elektroda dengan jarak 2.5 mm. Pegujian tegangan tembus dilakukan lima kali pada setiap sampel uji untuk mendapatkan nilai rata rata tegangan tembus yang lebih akurat.

Tabel 4.1 Nilai hasil pengujian tegangan tembus sampel uji isolasi minyak transformator

No	Tegangan tembus (kV)	
	Transformator 1	Tranformator 2
1	17.9	18.7
2	18.5	19.8
3	19.3	19.6
4	19.7	20.7
5	20.3	20.9
6	20.8	21.2
Rata-rata	19.4	20.1

Dari tabel 4.1, dapat dilihat dalam pengujian tegangan tembus dari percobaan pertama sampai ke percobaan keenam mengalami kenaikan yang signifikan. Untuk transformator pertama, tegangan tembus rata-rata yang dihasilkan sebesar 19.4 kV. Sedangkan transformator kedua menghasilkan tegangan sebesar 20.1. Keadaan ini dapat terjadi karena proses pemindahan isolasi minyak kedalam botol yang terkena kontaminan atau terkena udara langsung karena isolasi minyak sangat sensitif terhadap faktor tersebut, faktor lain yang mempengaruhi nilai dibawah karakteristik karena terlalu lama disimpan dalam botol yang keadannya tutup botol tersebut kurang rapat.

4.2 Analisa Karakteristik Minyak Isolasi Tranformator Dengan Metode DGA (Dissolved Gas Analysis)

Pada pengujian minyak isolasi transformator dengan menggunakan metode DGA akan didapatkan hasil gas-gas yang terkandung pada minyak isolasi tersebut. Berikut ini adalah hasil dari pengujian yang dilakukan sendiri dan perbandingan data yang sudah dilakukan Pertamina RU-II Dumai pada minyak isolasi transformator 1 dengan menggunakan metode DGA (Dissolved Gas Analysis) yang akan disajikan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Nilai hasil pengujian sendiri dan data dari Pertamina RU-II Dumai dengan metode DGA (Dissolved Gas Analysis) pada transformator 1

Parameter Gas	Transformator 1				
	Nilai (ppm)				
	Data Pertamina (2017-2018)				Data Pengujian (2018)
	17-11-2017	26-12-2017	14-2-2018	15-2-2018	
H ₂	704	0	0	0	0
CH ₄	28456	50754	58260	62305	67144
C ₂ H ₂	19	29	31	30	30
C ₂ H ₄	52346	0	0	0	0
C ₂ H ₆	25730	0	0	0	0
CO	85	369	412	408	424
CO ₂	3749	38711	43805	44502	47132
O ₂	30501	-	-	-	44830
N ₂	65951	-	-	-	109903

Dari tabel 4.2 pada transformator 1, dapat kita lihat bahwa terdapat gas CH₄ yang cukup banyak, memang pada transformator 1 sedang terjadi kegagalan sehingga kita bisa melihat perbandingan yang cukup signifikan sebelum dan sesudah transformator 1 dimatikan yang kemudian akan digantikan dengan menggunakan minyak yang baru. Maka dari pada, Pertamina RU II Dumai selalu melakukan pengetesan yang rutin pada transformator 1 untuk melihat kandungan gas pada minyak isolasi transformator pada tahun sebelumnya yang pada akhirnya transformator dimatikan agar banyaknya kandungan gas yang tidak diinginkan tidak menjadi lebih banyak sehingga kegagalan dapat diminimalisir.

Kemudian adalah hasil dari pengujian yang dilakukan sendiri dan perbandingan data yang sudah dilakukan Pertamina RU-II Dumai pada minyak isolasi transformator 2 dengan menggunakan metode DGA (Dissolved Gas Analysis) yang akan disajikan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Nilai hasil pengujian sendiri dan data dari Pertamina RU-II Dumai dengan metode DGA (Dissolved Gas Analysis) pada transformator 2

Parameter Gas	Transformator 2		
	Nilai (ppm)		
	Data Pertamina (2017-2018)		Data Pengujian (2018)
	13-12-2017	14-2-2018	
H ₂	27	14	5
CH ₄	0	40	48
C ₂ H ₂	0	0	0
C ₂ H ₄	182	161	172
C ₂ H ₆	27	21	23
CO	267	257	272
CO ₂	3365	3306	3639
O ₂	99958	65473	68611
N ₂	285095	151292	161536

Pada pengujian transformator 2, dapat dilihat dari tabel dan perbandingan data dari Pertamina RU-II Dumai memiliki kandungan gas yang cukup bagus sehingga pada transformator 2 sedang tidak terjadi gangguan atau tidak terdapat kegagalan seperti pada transformator 1 akan tetapi tetap perlu dilakukan pengetesan untuk mengetahui kandungan gas agar tidak terjadi kegagalan.

4.2.1 Analisa Karakteristik Minyak Isolasi Transformator Dengan Metode Interpretasi TDCG

Terdapat beberapa metode untuk melakukan interpretasi pada pengujian DGA, salah satunya adalah dengan menggunakan TDCG (Total Dissolved Combustible Gas) yaitu dengan menghitung total gas yang terdiri dari H₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆ dan CO. Berikut adalah hasil TDCG yang didapatkan pada transformator 1 dan transformator 2 yang akan disajikan pada tabel 4.4 dan tabel 4.5.

Tabel 4.4 Hasil TDCG pada pengujian DGA Transformator 1

Parameter Gas	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	TDCG
Nilai (ppm)	0	67144	30	0	0	424	67598

Tabel 4.5 Hasil TDCG pada pengujian DGA Transformator 2

Parameter Gas	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	TDCG
Nilai (ppm)	5	48	0	172	23	272	520

Dari tabel 4.4 dapat dilihat pada transformator 1 memiliki nilai TDCG yang cukup tinggi. Hal tersebut dapat terjadi karena pada transformator 1 memiliki kandungan gas CH₄ yang cukup tinggi. Sehingga untuk transformator 1, TDCG yang didapatkan termasuk pada kategori kondisi 4, pada tingkat ini menunjukkan adanya dekomposisi atau kerusakan pada isolator kertas atau minyak transformator yang sudah meluas. Jadi pada transformator pertama memang sudah dimatikan untuk mengganti minyak isolasi transformator yang baru.

Kemudian untuk tabel 4.5 dapat dilihat pada transformator 2 memiliki nilai TDCG yang cukup normal. Nilai TDCG yang didapatkan termasuk pada kategori kondisi 1. Dalam hal ini transformator 2 beroperasi secara normal, akan tetapi tetap perlu dilakukan pemantauan kondisi gas-gas tersebut.

4.2.2 Analisa Karakteristik Minyak Isolasi Transformator Dengan Metode Interpretasi Key Gas

Metode ini akan menganalisis konsentrasi gas-gas kunci yang terkandung dalam minyak isolasi transformator.

1. Key Gas pada Transformator 1

Dari data hasil uji DGA, berikut adalah konsentrasi rata-rata gas kunci pada transformator 1 yang akan disajikan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Konsentrasi gas kunci pada pengujian DGA Transformator 1

Key Gas	Data Pertamina (2017)		Data Pengujian (2018)	
	ppm	C	ppm	C
H ₂	704	III	2	I
CO	85	I	424	II
CH ₄	28456	IV	67144	IV
C ₂ H ₂	19	I	30	I
C ₂ H ₄	52346	IV	5	I
C ₂ H ₆	25730	IV	2	I
Total	107340		67607	
Kondisi	IV		IV	

Dari tabel 4.6 kita dapat melihat bahwa pada transformator 1 pada tahun 2017 memiliki nilai C₂H₄, C₂H₆ dan CH₄ yang cukup banyak. Hal ini menyebabkan dapat menyebabkan gangguan atau kegagalan yang berupa Thermal Oil atau Overheated Oil. Sehingga pada tahun 2018, transformator tersebut dimatikan dan dilakukan pengujian kandungan gas yang terdapat CH₄ yang cukup banyak. CH₄ dapat menyebabkan corona partial discharge, gangguan suhu termal rendah dan juga menengah. Maka dari pada itu, dari Pertamina RU-II Dumai menggantikan minyak isolasi transformator yang lama dengan yang baru agar tidak terjadi kerusakan pada transformator 1.

2. Key Gas pada Transformator 2

Dari data hasil uji DGA, berikut adalah konsentrasi rata-rata gas kunci pada transformator 2 yang akan disajikan pada tabel 4.7

Tabel 4.7 Konsentrasi gas kunci pada pengujian DGA Transformator 2

Key Gas	Data Pertamina (2017)		Data Pengujian (2018)	
	ppm	C	ppm	C
H2	14	I	5	I
CO	157	I	272	I
CH4	40	I	48	I
C2H2	0	I	0	I
C2H4	161	III	172	III
C2H6	21	I	23	I
Total	393		520	
Kondisi	I		I	

Dari tabel 4.7 kita dapat melihat bahwa pada transformator 2 pada tahun 2017 memiliki nilai rata-rata yang masuk dalam kondisi 1. Akan tetapi tetap memiliki nilai C2H4 yang masuk dalam kondisi 3. Hal ini menyebabkan dapat menyebabkan gangguan atau kegagalan yang berupa Thermal Oil atau Overheated Oil. Kemudian pada tahun 2018, memiliki nilai rata-rata yang juga dalam kondisi 1. Dalam hal ini terjadi peningkatan C2H4 yang sebelumnya memiliki nilai 161 menjadi 172. Hal ini tentu saja harus terus diwaspadai agar tidak terjadi overheated oil yang berlebihan pada transformator 2.

4.2.3 Analisa Karakteristik Minyak Isolasi Transformator Dengan Metode Interpretasi Roger Ratio

Pada metode roger ratio, terdapat lima jenis fault gas yang digunakan untuk menciptakan tiga digit kode. Kode-kode tersebut akan menunjukkan indikasi dari penyebab munculnya fault gas. Berikut akan dijelaskan mengenai perhitungan roger ratio yang hasilnya berupa kode yang dapat dianalisa.

a. Transformator 1

$$R1 = \frac{CH_4}{H_2} = \frac{67144}{2} = 33572$$

$$R2 = \frac{C_2H_2}{C_2H_4} = \frac{30}{5} = 6$$

$$R3 = \frac{C_2H_4}{C_2H_6} = \frac{5}{2} = 2.5$$

b. Transformator 2

$$R1 = \frac{CH_4}{H_2} = \frac{48}{5} = 9.6$$

$$R2 = \frac{C_2H_2}{C_2H_4} = \frac{0}{172} = 0$$

$$R3 = \frac{C_2H_4}{C_2H_6} = \frac{172}{23} = 7.48$$

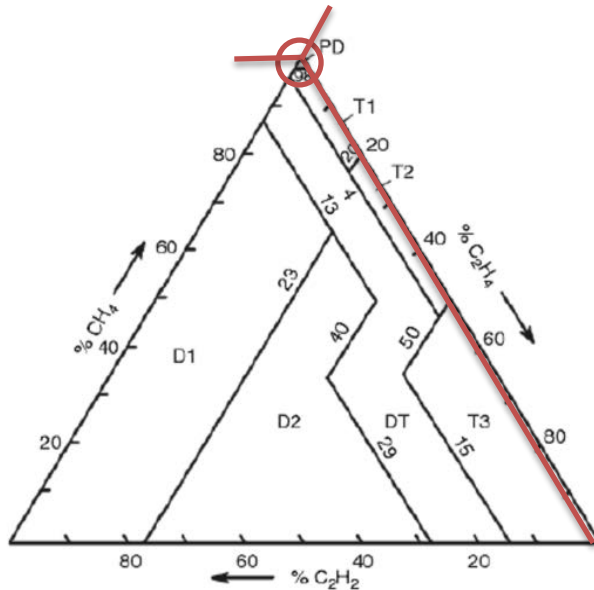
Setelah perhitungan telah dilakukan, maka analisa dapat dilihat dengan menggunakan tabel roger ratio yang menjelaskan kode-kode yang dapat menganalisis gangguan yang sedang terjadi. Pada transformator 1, memang transformator sedang terjadi gangguan dan transformator sedang dimatikan, karena terdapat banyaknya kandungan gas yang dapat menyebabkan permasalahan pada transformator 1. Sedangkan untuk transformator 2 dengan melihat hasil perhitungan yang telah dilakukan dan mendapatkan kode R1 0, R2 2, dan R3 2, dapat disimpulkan bahwa terdapat panas dengan temperatur tinggi diatas 700°C. Hal yang terjadi pada transformator 2 sama dengan metode duval's triangel yang mengkategorikannya pada T3 yaitu berupa thermal faults berada pada temperature diatas 700°C.

4.2.4 Analisa Karakteristik Minyak Isolasi Transformator Dengan Metode Interpretasi Duval's Triangel

Pada metode Duval's Triangel, gas yang dapat digunakan untuk perhitungan berupa gas CH₄ (Methane), C₂H₂ (Acetylene) dan C₂H₄ (Ethylene). Berikut perhitungan gas dengan perhitungan duval untuk transformator 1 dan 2 yang telah diuji.

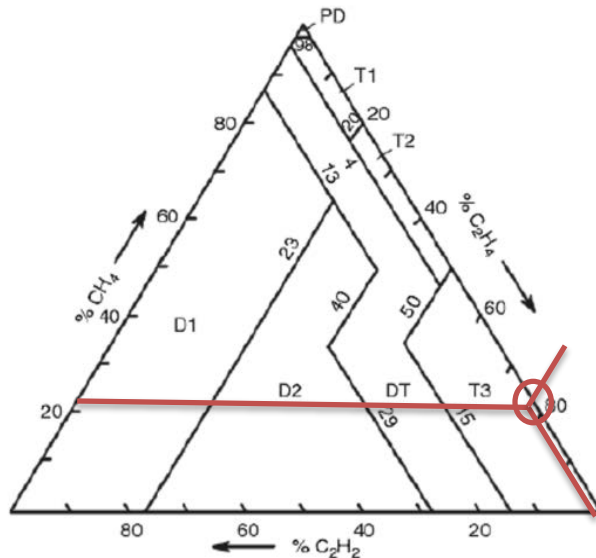
- a. Transformator 1
 $C_2H_2 + CH_4 + C_2H_4$
 $30 + 67144 + 5 = 67179$
 $\% C_2H_2 = \frac{30}{67179} \times 100 = 0.05$
 $\% CH_4 = \frac{67144}{67179} \times 100 = 100$
 $\% C_2H_4 = \frac{5}{67179} \times 100 = 0.007$
- b. Transformator 2
 $C_2H_2 + CH_4 + C_2H_4$
 $0 + 48 + 172 = 220$
 $\% C_2H_2 = \frac{0}{220} \times 100 = 0$
 $\% CH_4 = \frac{48}{220} \times 100 = 22$
 $\% C_2H_4 = \frac{172}{220} \times 100 = 78$

Setelah didapatkan perhitungannya, kemudian analisa dapat dilihat pada gambar 4.4 dan 4.5 pada Duval's Triangel.



Gambar 4.1 Duval's Triangel pada transformator 1 yang berada pada bagian PD

Pada transformator 1, dapat dilihat dari Duval's Triangel titik berada pada bagian area PD. Partial Discharge disini merupakan peristiwa pelepasan atau loncatan bunga api listrik yang terjadi pada suatu bagian isolasi (pada rongga dalam atau pada permukaan) sebagai akibat adanya beda potensial yang tinggi dalam isolasi tersebut. Partial discharge dapat terjadi pada bahan isolasi padat, bahan isolasi cair maupun bahan isolasi gas. Mekanisme kegagalan pada bahan isolasi padat meliputi kegagalan asasi (intrinsik), elektro mekanik, streamer, thermal dan kegagalan erosi. Kegagalan pada bahan isolasi cair disebabkan oleh adanya kavitasi, adanya butiran pada zat cair dan tercampurnya bahan isolasi cair. Pada bahan isolasi gas mekanisme townsend dan mekanisme streamer merupakan penyebab kegagalan.



Gambar 4.2 Duval's Triangel pada transformator 2 yang berada pada bagian PD

Pada transformator 2, dapat dilihat dari Duval's Triangel titik berada pada bagian area T3. Pada bagian ini, thermal faults berada pada temperature diatas 700°C . Maka dari pada itu, pada transformator 2 perlu dilakukan pengujian pada minyak transformator dan pengawasan agar tidak terjadi kegagalan atau kerusakan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari pengujian dan analisa dari isolasi minyak transformator berdasarkan metode Breakdown Voltage dan DGA (Dissolved Gas Analysis) adalah sebagai berikut :

1. Dari pengujian tegangan tembus yang dilakukan pada transformator 1 dan 2, didapatkan nilai tegangan tembus yang kecil karena rating dari transformator yang kecil juga.
2. Pengujian DGA (Dissolved Gas Analysis) adalah metode yang tidak berkaitan dengan metode breakdown voltage. Dalam hal ini metode DGA merupakan parameter uji yang berdiri sendiri.
3. Setelah dilakukan pengujian, maka dilakukan analisa dengan menggunakan metode interpretasi untuk menganalisa. Dalam hal ini memang cukup melakukan 1 metode interpretasi untuk mengetahui kegagalan yang terdapat pada minyak isolasi transformator. Akan tetapi, akan lebih akurat jika dilakukan analisa metode interpretasi lainnya.
4. Pada pengujian DGA, kondisi sampel minyak pada transformator 1 berada dalam kondisi yang sangat buruk yaitu kondisi 4 karena terdapat CH₄, C₂H₄ dan C₂H₆ yang cukup banyak pada tahun 2017. Sehingga transformator 1 tersebut kemudian dimatikan dan dianalisa lagi pada tahun 2018. Pada tahun 2018, terdapat kandungan gas CH₄ yang masih banyak. Hal ini dapat menyebabkan corona partial discharge dan juga gangguan suhu termal rendah dan menengah.
5. Pada transformator 2, kondisi sampel berbeda dengan transformator 1 yaitu berada pada kondisi yang cukup baik yaitu kondisi 1 akan tetapi telah menunjukkan beberapa indikasi kegagalan yaitu terdapat overheated oil karena disebabkan C₂H₄ yang cukup banyak. Maka dari pada itu, tetap perlu dilakukan pengujian dan pengawasan terhadap minyak isolasi transformator agar tidak terjadi kegagalan pada minyak transformator tersebut.

5.2 Saran

Pengujian minyak isolasi transformator dengan metode Breakdown Voltage dan DGA merupakan salah satu cara untuk mengetahui karakteristik atau kegagalan yang terjadi pada minyak transformator. Akan tetapi perlu dilakukan beberapa percobaan lagi pada minyak isolasi transformator agar memiliki data dan nilai yang lebih akurat sehingga didapatkan analisa kegagalan yang lebih jelas dan terperinci.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Febrina, Dewi Cahya, Tugas Akhir, “Pengaruh Temperatur Terhadap Tegangan Tembus dan Usia Kerja Berbagai Jenis Minyak Transformator di PT.PLN (Persero) P3B JB APP - Surabaya”, Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga Jurusan Elektro, ITS, 2016.
- [2] Chapman, Stephen. J., “Electric Machinery Fundamentals: Fourth Edition”, McGraw-Hill Education, New York, Ch. 2, 2005.
- [3] Solikhudin, M., “Studi Gangguan Interbus Transformer (IBT-1) 500/150 kV di Gidet 500 kV Kembangan – Jakarta Barat”, Thesis, Fakultas Teknik Program Pasca Sarjana Departemen Teknik Elektro, UI, Bab 2, 2010.
- [4] Arismunandar, Artono, “Teknik Tegangan Tinggi Suplemen”, Jakarta: Ghalia Indonesia, 1983.
- [5] Arigayota, Abdul Rahman, “Memantau Kualitas Minyak Trafo”. Teknologi dan Energi Vol.2 No.4: Halaman 392, Oktober 2012.
- [6] F. Husnayain, M. Latif, O, dan I. Garniwa, “Transformer Oil Lifetime Prediction Using the Arrhenius Law based on Physical and Electrical Characteristics”, IEEE 2015 International Conference on Quality in Research, pp. 115 – 120, Aug, 2015.
- [7] Yuliasuti, Endah, Morshuis, P.H.F, and Chen, X, “Analysis of Dielectric Properties Comparison between Mineral Oil and Synthetic Ester Oil”, Master Thesis, Delft University of Technology, Oktober 2010.
- [8] International Electrotechnical Commission. “Mineral insulating oils in electrical equipment – Supervision and maintenance guidance”, IEC 60422 Ed.4 2013-01, Jan 2013.
- [9] Institute of Electrical and Electronics Engineers. “IEEE Guide for the Statistical Analysis of Thermal Life Test Data”, ANSI/IEEE Std. 101-1987. New York, Des 2010.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Biografi Penulis



Muhammad Fachry Akbar, Penulis biasa dipanggil dengan sapaan Fachry dilahirkan di Banda Aceh pada tanggal 15 Januari 1996, anak ke dua dari tiga bersaudara dari orang tua Razali dan Nurhidayati. Penulis memulai pendidikan dari TK Tunas Harapan Dumai pada tahun 1999-2001, kemudian melanjutkan pendidikan di SD 1 YKPP pada tahun 2001-2007, selanjutnya menempuh pendidikan di SMPN BINSUS Dumai pada tahun 2007-2010, setelah itu melanjutkan di SMAN BINSUS tahun 2010-2013, dan penulis melanjutkan studi di S1 Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga sebagai fokus studinya. Selain itu penulis aktif dalam kegiatan UKM (Unit Kegiatan Mahasiswa) yaitu Billiard karena merupakan hobi yang mulai ditekuni semenjak duduk dibangku SMA. Didalam UKM Billiard tersebut, penulis juga aktif dalam kepengurusan kepanitiaan event atau pelatihan yang telah dilakukan pada tahun 2014. Penulis dapat dihungi melalui email : fachryakbr@yahoo.com

Halaman ini sengaja dikosongkan